



SKRIPSI – TK141581

**KESETIMBANGAN CAIR-CAIR SISTEM TERNER
DIETIL KARBONAT + ISOBUTANOL + H₂O DAN
DIETIL KARBONAT + TERT-BUTANOL + H₂O PADA
TEMPERATUR 303.15 DAN 313.15 K PADA TEKANAN
ATMOSFER**

Oleh:

BAGUS RIZKY PRATAMA B.

NRP. 2313 105 021

ARINA ULFA S

NRP. 2313 106 014

DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng

NIP. 1963.01.22.1987.01.1001

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016



FINAL PROJECT – TK141581

**LIQUID-LIQUID EQUILIBRIUM OF THE TERNARY
SYSTEM DIETHYL CARBONATE + ISOBUTANOL + H₂O
AND DIETHYL CARBONATE +TERT-BUTANOL + H₂O
AT TEMPERATURE 303.15 AND 313.15 K AT
ATMOSPHERIC PRESSURE**

By:

BAGUS RIZKY PRATAMA B.

NRP. 2313 105 021

ARINA ULFA S

NRP. 2313 106 014

Supervisor :

Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng

NIP. 1963.01.22.1987.01.1001

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

**KESETIMBANGAN CAIR-CAIR SISTEM TERNER
DIETIL KARBONAT + ISOBUTANOL + H₂O DAN
DIETIL KARBONAT + TERT-BUTANOL + H₂O PADA
TEMPERATUR 303.15 DAN 313.15 K PADA TEKANAN
ATMOSFER**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Bidang Studi Termodinamika
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi
Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

BAGUS RIZKY PRATAMA B

Nrp. 2313 105 021

ARINA ULFA S

Nrp. 2313 106 014

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M. Eng (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Sumarno, M.Eng (Penguji II)
3. Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng (Penguji II)
4. Dr. Ir. Kuswandi, DEA (Penguji III)

**SURABAYA
JANUARI, 2016**

**KESETIMBANGAN CAIR-CAIR SISTEM TERNER
DIETIL KARBONAT + ISOBUTANOL + H₂O DAN DIETIL
KARBONAT + TERT-BUTANOL + H₂O PADA
TEMPERATUR 303.15 DAN 313.15 K PADA TEKANAN
ATMOSFER**

Nama Mahasiswa : Bagus Rizky Pratama B. (2313 105 021)
Arina Ulfa S. (2313 106 014)
Jurusan : Teknik Kimia FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data kesetimbangan cair-cair sistem terner DEC + isobutanol + H₂O dan DEC + tert-butanol + H₂O Pada Suhu 303.15 dan 313.15 K Pada tekanan atmosfer secara eksperimen. Peralatan yang digunakan adalah equilibrium cell yang dilengkapi dengan jaket pemanas. Jaket pemanas dialiri air yang disirkulasi melalui waterbath untuk menjaga suhu kesetimbangan. Ekperimen dilakukan dengan campuran komposisi tertentu dimasukkan ke dalam equilibrium cell dan diaduk selama 4 jam kemudian didiamkan selama 20 jam agar fase organik dan aqueous terpisah secara sempurna. Peralatan ini mempunyai standart deviasi tekanan ± 1 kPa dan deviasi temperatur 0.4 K. Setelah eksperimen masing-masing sampel diambil secara terpisah untuk dianalisa komposisinya sebagai komposisi kesetimbangan menggunakan Shimadzu Gas Chromatography 2010 Plus dengan standart deviasi 0.1 % mol. Penelitian diulangi untuk komposisi awal yang berbeda agar diperoleh tie line atau model kurva yang terdistribusi secara merata pada range komposisi kesetimbangan. Secara eksperimen menunjukkan hasil bahwa sistem DEC + isobutanol + H₂O menunjukkan sistem Treyball tipe II. Untuk sistem DEC + tert-Butanol + H₂O menunjukkan sistem Treyball tipe I. Data hasil eksperimen berhasil dikorelasikan menggunakan persamaan NRTL dan UNIQUAC model koefisien aktivitas, memberikan RMSD sebesar 0.7 % dan 0.6 % untuk sistem DEC + isobutanol + H₂O. Untuk sistem DEC+ tert-Butanol + H₂O menggunakan kedua model memberikan RMSD sebesar 0.5 %.

Kata kunci: LLE, DEC, butanol, H₂O, NRTL, UNIQUAC

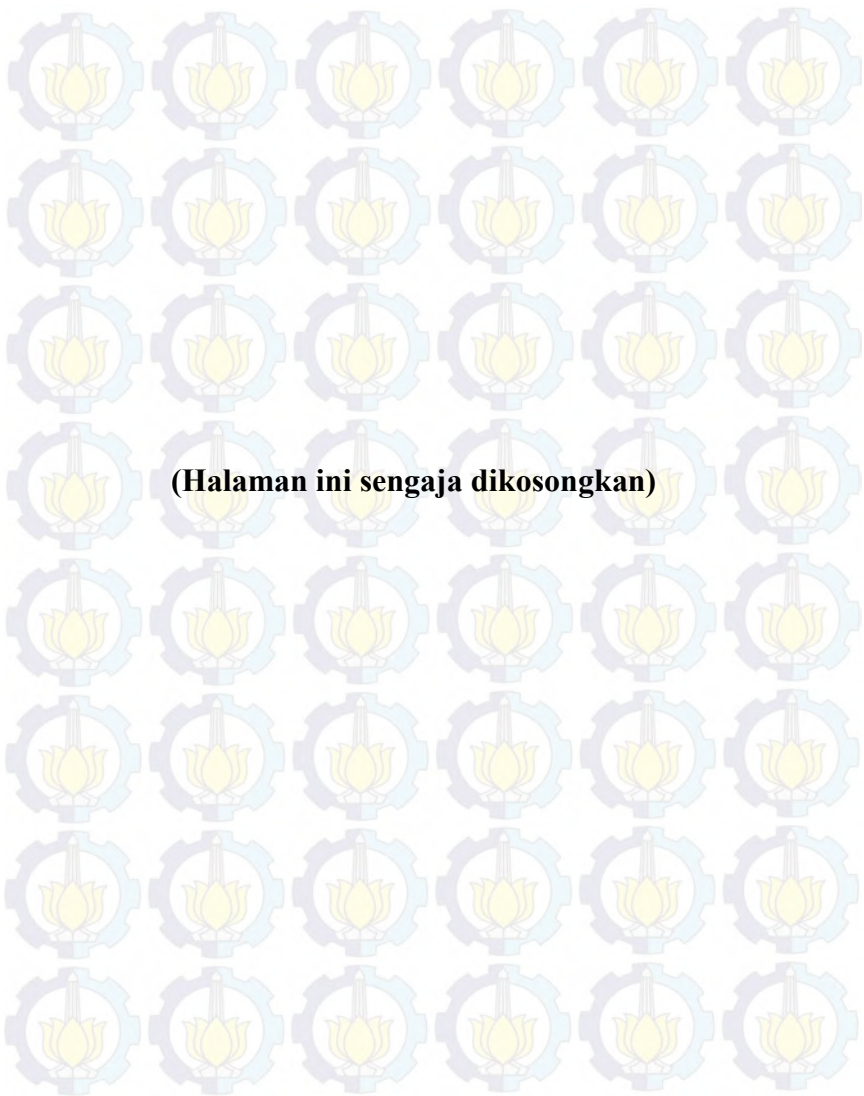
**LIQUID-LIQUID EQUILIBRIUM OF THE TERNARY
SYSTEM DIETHYL CARBONATE + ISOBUTANOL + H₂O
AND DIETHYL CARBONATE + TERT-BUTANOL + H₂O
AT 303.15 AND 313.15 K AND ATMOSPHERIC PRESSURE**

Name : Bagus Rizky Pratama B. (2313 105 021)
Arina Ulfa S. (2313 106 014)
Departments : Chemical Engineering, ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng

ABSTRACT

The objective of this study was to determine experimentally atmospheric ternary liquid-liquid equilibrium data for DEC + isobutanol + H₂O and DEC + tert-butanol + H₂O systems at 303.15 and 313.15 K. The main experimental apparatus consist of equilibrium cell equipped with heating jacket to maintain equilibrium temperature. The experiment was started by adding ternary mixture with known composition into equilibrium cell and then stirred for 4 hours, it was then settled for 20 hours in order to be completely separated into organic and aqueous phases. The experimental apparatus have a standard pressure deviation of ± 1 kPa and temperature deviation of ± 0.4 K. At the end of settling period, sample was taken separately from each phase to be analyzed using Gas Chromatography with standard deviation of 0.1% mole. The experiment were repeated for different initial composition to get tie line or curve model which distributed proportionally in equilibrium composition. The experimental result show that DEC + isobutanol + H₂O and DEC + tert-butanol + H₂O systems exhibit Treyball type II and type I, respectively. The experimental data were satisfactorily correlated using NRTL and UNIQUAC activity coefficient models, giving RMSD value of 0.7% and 0.6% for DEC + isobutanol + H₂O system, respectively. For DEC + tert-butanol + H₂O system both model give RMSD 0.5 %.

Keywords: LLE, DEC, butanol, H₂O, NRTL, UNIQUAC



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT. yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “KESETIMBANGAN CAIR-CAIR SISTEM TERNER DIETIL KARBONAT+ISOBUTANOL+H₂O DAN DIETIL KARBONAT + TERT-BUTANOL+H₂O PADA TEMPERATUR 303.15 DAN 313.15 K PADA TEKANAN ATMOSFER” tepat pada waktunya. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program Strata-1 di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis menyadari dalam penyusunan Skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng, selaku Kepala Laboratorium Thermodinamika Teknik Kimia sekaligus Dosen Pembimbing atas semua bimbingan dan motivasi yang diberikan.
2. Bapak Juwari, S.T.,M.Eng.,PhD. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
3. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
4. Seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis
5. Seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis
6. Orang tua serta saudara-saudara kami, atas do’a, bimbingan, perhatian, serta kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
7. Keluarga besar Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), khususnya keluarga angkatan Lintas Jalur 2013 dan teman-teman di Laboratorium Thermodinamika Teknik Kimia,

Jurusan Teknik Kimia, FTI-ITS atas semua dukungan, semangat, serta kerjasamanya.

Kami menyadari laporan skripsi ini tidak luput dari berbagai kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan dan perbaikannya. Akhirnya laporan skripsi ini dapat memberikan sumbangan bagi pembaca.

Surabaya, 26 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Perumusan Masalah.....	4
I.3 Tujuan Penelitian.....	5
I.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Tinjauan Penelitian.....	7
II.2 Diethyl Carbonate (DEC).....	8
II.3 Isobutanol.....	8
II.4 Tert-butanol.....	9
II.5 Kesetimbangan Cair-Cair (LLE).....	9
II.6 Korelasi Koefisien Aktifitas Fase Cair.....	12
6.1 Model Persamaan NRTL (Non Random Two Liquid).....	12
6.2 Model Persamaan UNIQUAC (Universal Quasi Chemical).....	13
II.7 Metode Newton Raphson Non-linear.....	15
II.8 Perhitungan Deviasi Hasil Eksperimen dan Prediksi.....	16
II.9 Korelasi Bachman-Brown.....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Peralatan Eksperimen.....	19
III.2 Bahan yang Digunakan.....	20
III.3 Scope Penelitian.....	20

III.4 Prosedur Eksperimen.....	21
4.1 Eksperimen	21
4.2 Analisa Komposisi.....	21
III.5 Metodologi Penelitian.....	22
III.6 Diagram Blok Perhitungan Koefisien Aktivitas dan Fitting Parameter	22
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Hasil dan Pembahasan Eksperimen.....	27
IV.2 Hasil Prediksi Keseimbangan.....	37
2.1 Penentuan Parameter.....	34
2.2 Korelasi Data Keseimbangan.....	36
BAB V KESIMPULAN.....	43
DAFTAR NOTASI	45
DAFTAR PUSTAKA.....	47
APPENDIKS	49
LAMPIRAN	65
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Nilai RON untuk isomer butanol.....	3
Tabel 2.1 Properti Diethyl Carbonate.....	8
Tabel 2.2 Properti Isobutanol	9
Tabel 2.3 Properti Tert-butanol	9
Tabel 4.1 Data eksperimen kesetimbangan cair-cair sistem Dietil Karbonat (1) + Isobutanol (2) + H ₂ O (3)	29
Tabel 4.2 Data eksperimen kesetimbangan cair-cair sistem Dietil Karbonat (1) + Tert-Butanol (2) + H ₂ O (3)	30
Tabel 4.3 Bachman-Brown parameter.....	31
Tabel 4.4 UNIQUAC Parameter Luas dan Volume molekul...	35
Tabel 4.5 Hasil Parameter model NRTL.....	35
Tabel 4.6 Hasil Parameter model UNIQUAC	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kesetimbangan Fase.....	10
Gambar 3.1	Peralatan eksperimen	19
Gambar 3.2	Diagram alir perhitungan parameter dengan persamaan NRTL	23
Gambar 3.3	Diagram alir perhitungan parameter dengan persamaan UNIQUAC	24
Gambar 3.4	Diagram alir perhitungan komposisi kesetimbangan.....	25
Gambar 4.1	LLE Sistem DMC + 1-Propanol + H ₂ O pada 303.15 K eksperimen dan literatur	28
Gambar 4.2	Korelasi Bachman-Brown Sistem DMC + 1-Propanol + H ₂ O pada 303.15 K.....	28
Gambar 4.3	Korelasi Bachman-Brown ternary sistem DEC + Isobutanol + H ₂ O dan DEC + Tert-butanol + H ₂ O pada 303.15 K dan 313.15 K.....	31
Gambar 4.4	Hasil Eksperimen Kesetimbangan Cair-Cair Sistem DEC (1) + Isobutanol (2) + H ₂ O (3) pada Suhu (▪) 303.15 K ; (▼) 313.15 K	32
Gambar 4.5	Hasil Eksperimen Kesetimbangan Cair-Cair Sistem DEC (1) + Tert-butanol (2) + H ₂ O (3) pada Suhu (▪) 303.15 K ; (▼) 313.15 K	32
Gambar 4.6	Diagram Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Ternary DEC (1) + Isobutanol (2) + H ₂ O (3) pada Suhu 303.15 K ; (■) Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan NRTL	37
Gambar 4.7	Diagram Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Ternary DEC (1) + Isobutanol (2) + H ₂ O (3) pada Suhu 313.15 K ; (■) Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan NRTL	38

- Gambar 4.8 Diagram Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Ternar DEC (1) + Isobutanol (2) + H₂O (3) pada Suhu 303.15 K ; (■) Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan UNIQUAC 38
- Gambar 4.9 Diagram Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Ternar DEC (1) + Isobutanol (2) + H₂O (3) pada Suhu 313.15 K ; (■) Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan UNIQUAC 39
- Gambar 4.10 Diagram Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Ternar DEC (1) + Tert-butanol (2) + H₂O (3) pada Suhu 303.15 K ; (■) Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan NRTL 39
- Gambar 4.11 Diagram Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Ternar DEC (1) + Tert-butanol (2) + H₂O (3) pada Suhu 313.15 K ; (■) Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan NRTL 40
- Gambar 4.12 Diagram Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Ternar DEC (1) + Tert-butanol (2) + H₂O (3) pada Suhu 303.15 K ; (■) Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan UNIQUAC 40
- Gambar 4.13 Diagram Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Ternar DEC (1) + Tert-butanol (2) + H₂O (3) pada Suhu 313.15 K ; (■) Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan UNIQUAC 41

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar baik bensin maupun solar saat ini banyak digunakan baik untuk aktifitas transportasi maupun industri. Namun, pembakaran yang kurang sempurna menyebabkan penggunaan bahan bakar menjadi lebih boros dan dapat menghasilkan emisi gas buang yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Diantaranya adalah emisi dari materi partikulat, CO, hidrokarbon, NO_x, dan SO₂ (Kadarohman, 2003).

Alternatif untuk meningkatkan efisiensi pembakaran bahan bakar dan mengurangi pencemaran adalah mereformulasi bahan bakar dengan zat aditif yang berfungsi untuk memperkaya kandungan oksigen dalam bahan bakar. Song (2001) dan Choi (1999) mengemukakan zat aditif oxygenate pada bahan bakar berperan untuk meningkatkan bilangan oktan (octane number) serta atom oksigen di dalam bahan bakar yang berperan untuk mengoksidasi jelaga dan gas karbon monoksida (CO) sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna.

Senyawa oxygenate adalah senyawa organik cair yang dapat dicampur ke dalam bahan bakar untuk menambah kandungan oksigennya, seperti ditertiarybutyl peroxide (DTBP), methyl-tertiary-butyl ether (MTBE), tri-propylene glycol methyl ether (TPGME), dan di-butyl maleate (DBM). Senyawa organologam yang sudah digunakan sebagai aditif, misalnya tetra ethyl lead (TEL) dan methyl cyclopentadienyl manganese tricarbonyl (MMT). Aditif ini akan membuat radikal bebas pada rantai karbon bahan bakar. Dengan adanya radikal bebas, maka akan semakin mudah rantai karbon tersebut untuk membuat cabang baru. Efek dari timbulnya cabang baru adalah meningkatnya nilai oktana/setana dan nilai kalori. Namun setelah dipakai beberapa waktu, para peneliti menemukan kelemahan TEL yaitu dapat menimbulkan emisi bahan bakar yang

membahayakan bagi kesehatan manusia. Begitu juga dengan MTBE yang memiliki kelarutan tinggi dalam air, sehingga dapat menimbulkan kerugian bagi manusia. Apabila terjadi kebocoran tangki SPBU maka bensin akan meresap ke dalam tanah. Air tanah yang terminum manusia ini berbahaya karena telah tercemari oleh MTBE yang bersifat karsinogenik (zat penyebab kanker) (Torre et al., 2006).

Untuk mengatasi masalah tersebut maka dilakukan beberapa penelitian mengenai alternatif baru zat aditif bahan bakar yang dapat meningkatkan nilai oktan serta memenuhi standar emisi yaitu Diethyl carbonate (DEC) merupakan zat aditif ideal untuk menggantikan MTBE karena memiliki kandungan oksigen tinggi, tekanan uap rendah, nilai oktan campuran yang tinggi, mengurangi emisi hidrokarbon, CO, NOx, dan partikel lainnya. DEC telah digunakan sebagai aditif tunggal pada bensin dan aditif tambahan pada kombinasi alkohol sederhana (methanol, ethanol, dan 1-propanol). Berdasarkan ASTM D4814, standar kandungan oksigen dalam *gasoline* + zat aditif berkisar antara 2-4%wt sehingga perlu diperhatikan komposisi zat aditif yang ditambahkan dalam *gasoline*.

Penggunaan alkohol dalam penerapan gasohol (gasolin + alkohol) sangat menentukan karakter dari gasohol tersebut. Semakin panjang rantai karbon dari alkohol tersebut akan meningkatkan nilai dari heating value dari sistem campuran tersebut. Pada umumnya penggunaan gasohol masih menggunakan ethanol sebagai jenis alkohol nya. Namun, penggunaan etanol menyebabkan fuel consumption yang tinggi pula yang diakibatkan oleh nilai bakar yang tidak cukup tinggi pada etanol.

Untuk mengatasi masalah ini butanol dan isomernya (1-butanol, 2-butanol, isobutanol, dan tert-butanol) mulai dipertimbangkan sebagai aditif bahan bakar sebagai pengganti etanol. Butanol dapat diproduksi dari bahan alami melalui proses fermentasi (biobutanol) sehingga termasuk bahan yang ramah lingkungan. Butanol memiliki sifat yang lebih mirip dengan

gasoline dibandingkan dengan etanol dan memiliki kelarutan lebih rendah terhadap air dibandingkan dengan etanol, sehingga dapat menghasilkan campuran dengan gasoline yang lebih stabil (Peng dkk,1996).

Penggunaan butanol merupakan salah satu cara mendapatkan gasohol dengan fuel consumption yang lebih kecil dikarenakan nilai bakar pada butanol yang lebih tinggi dan dapat mengurangi kemungkinan terjadinya phase splittim. Dari Tabel 1.1 dapat dilihat bahwa, tert-butanol dan iso-butanol memiliki nilai oktan yang paling tinggi di antara yang lain sehingga penggunaan kedua komponen tersebut dalam campuran bahan bakar (gasolin) dapat menghasilkan nilai oktan yang lebih baik.

Tabel 1.1 Nilai RON untuk isomer butanol (Advance Motor Fuels, 2011)

Komponen	RON
n-Butanol	94
2-Butanol	101
Tert-Butanol	104 - 110
Iso-Butanol	113

Ketersediaan data kesetimbangan cair-cair (LLE) sangat dibutuhkan untuk memahami perilaku dan sifat thermodinamika dari sistem yang mengandung air, alkohol, dan oxygenates. Namun untuk penelitian pada suhu 298.15 K sulit diaplikasikan di Indonesia, karena Indonesia berada pada iklim tropis, dimana suhu rata-ratanya berkisar 303.15 K – 313.15 K pada saat musim panas.

Karena suhu mempengaruhi daerah kesetimbangan cair-cair, maka penelitian kali ini berfokus terhadap suhu pada kesetimbangan fasa cair-cair untuk sistem dietil karbonat + Isobutanol + H₂O dan dietil karbonat + Tert-butanol + H₂O pada temperatur 303.15 K dan 313.15 K pada tekanan atmosfer.

Diharapkan dengan adanya data kesetimbangan ini dapat menjadi dasar pencampuran untuk bahan bakar yang mempunyai performa yang bagus.

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian mengenai LLE pada sistem terner yang mengandung DEC dan alkohol sudah pernah dilakukan Penelitian Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Terner air + 1-butanol + DMC/DEC pada suhu 298.15 K (Chen et al., 2011). Karena Indonesia berada pada iklim tropis, dimana suhu rata-ratanya berkisar 303.15 K – 313.15 K maka dibutuhkan data kesetimbangan pada suhu di atas 298.15 K.

Di sisi lain methanol dan etanol bersifat korosif sehingga pemakaiannya mulai dikurangi, maka dicobalah butanol sebagai energi alternatif untuk menggantikan etanol sebagai blending dengan DEC. Nilai oktan untuk butanol (103) mirip dengan bensin (90-105) tetapi lebih rendah dari etanol (108.7) maupun metanol (108.6). Butanol sendiri memiliki beberapa keuntungan, yaitu vapor pressure yang lebih rendah (1.3 kPa) dibandingkan metanol (12 kPa), etanol (8 kPa) maupun propanol (2 kPa) pada suhu 200C, dan juga lebih ramah terhadap mesin karena tidak bersifat korosif seperti etanol dan metanol. Kelebihan lain dari butanol adalah bahan baku sintesa butanol yang berasal dari biomassa. Hal ini merupakan peluang butanol untuk dikembangkan dan diproduksi secara massal karena Indonesia kaya akan biomassa.

Beberapa studi tentang kesetimbangan fase dari campuran mengandung DEC sangat menarik untuk diteliti. Faktanya, sistem distribusi bensin komersial selalu mengandung air, karena kelembaban udara saat menyimpan dalam tangki penyimpanan. Maka, semua sistem yang diukur di sini merupakan larutan aqueous dan alkohol. (Zeng et al, 2013).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian mengenai kesetimbangan cair-cair sistem terner DEC + Isobutanol + H₂O dan DEC + Tert-butanol + H₂O pada temperatur 303.15 K dan

313.15 K pada tekanan atmosfer perlu dilakukan. Diharapkan dengan adanya data kesetimbangan ini dapat menjadi dasar pencampuran untuk bahan bakar yang mempunyai performa yang bagus.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Memperoleh data kesetimbangan cair-cair (LLE) sistem terner DEC + Isobutanol + H₂O dan DEC + Tert-butanol + H₂O pada suhu 303.15 dan 313.15 K pada tekanan atmosferik.
2. Mengkorelasikan data eksperimen menggunakan persamaan NRTL dan UNIQUAC.

1.4 Manfaat Penelitian

Data yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan sebagai basis dalam perencanaan proses blending gasoline, sehingga gasoline yang dihasilkan efisien dari segi penggunaan dan penyimpanan sesuai dengan kondisi di Indonesia. Disamping itu data yang diperoleh dapat melengkapi data hasil yang ada untuk mengembangkan teori larutan Termodinamika.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Tinjauan Penelitian

Berikut ini adalah penelitian yang telah dilakukan dengan tema kesetimbangan cair-cair yang berkaitan dengan DEC, baik secara eksperimen maupun simulasi :

Peng et al. (1996) melakukan eksperimen kelarutan H₂O dalam blending gasoline dan oxygenate. Parameter kesetimbangan yang digunakan yaitu dikorelasikan dengan model persamaan UNIQUAC.

Li et al. (2008) melakukan eksperimen tentang efek dari dimethyl carbonate (DMC) dan diethyl carbonate (DEC) sebagai zat aditif pada volatility dan titik flash pada avtur. Tekanan uap hasil eksperimen dan temperatur kesetimbangan dikorelasikan dengan persamaan Antoine pada setiap campuran. Garis bubble-point dari tekanan lawan komposisi pada beberapa suhu dan suhu tersebut lawan komposisi pada beberapa tekanan didapatkan melalui korelasi Antoine.

Chen et al. (2010) melakukan eksperimen pengukuran kesetimbangan dan korelasi cair-cair system biner dan campuran quaternary pembentukan dialkyl carbonates pada suhu 298.15 K. Parameter kesetimbangan yang digunakan yaitu dikorelasikan dengan model persamaan UNIQUAC.

Arango et al. (2012) melakukan eksperimen tentang pengukuran kesetimbangan uap-cair (VLE) dan kesetimbangan uap-cair-cair (VLLE) secara isothermal untuk sistem terner etanol + air + diethyl carbonate (DEC) dan sistem biner konstituen pada 353.15 dan 363.15 K. Parameter data kesetimbangan yang digunakan yaitu dikorelasikan dengan model persamaan NRTL dan UNIQUAC.

Hwang et al. (2011) melakukan eksperimen untuk memprediksi kesetimbangan cair-cair untuk sistem terner dengan C1-C4 alkohol pada temperatur 298.15 K. Parameter

kesetimbangan yang digunakan yaitu model persamaan UNIQUAC dan NRTL.

Zeng et al. (2013) melakukan eksperimen tentang pengukuran kesetimbangan cair-cair sistem terner dari campuran dimethyl carbonate (DMC) /diethyl carbonate (DEC) + 1-propanol + air pada beberapa temperatur. Parameter data kesetimbangan yang digunakan yaitu dikorelasikan dengan model persamaan UNIQUAC.

II.2 Diethyl Carbonate (DEC)

Diethyl Carbonate merupakan cairan tidak berwarna yang stabil, dengan aroma lembut, larut dalam hampir semua pelarut organik, digunakan sebagai pelarut dan untuk sintesis kimia. Juga dikenal sebagai etil karbonat, DEC juga bisa digunakan sebagai tambahan bahan bakar karena memiliki kandungan oksigen yang tinggi.

Tabel 2.1 Properti Diethyl Carbonate (Lewis, 1997)

Berat molekul	118.14 gr/gmol
Rumus molekul	$(C_2H_5)_2CO_3$
Titik leleh	-43 °C
Titik didih	126 °C
Densitas	0.9752 g/ml pada 25°C
Kelarutan	Insoluble

II.3 Isobutanol

Dalam industri kimia, isobutanol merupakan pelarut penting dan bahan baku untuk sintesis produk-produk lainnya. Juga digunakan sebagai pelarut cat dan bahan pencampur tinta

Tabel 2.2 Properti Isobutanol (Lewis, 1997)

Berat molekul	74.112 gr/gmol
Rumus molekul	$C_4H_{10}O$
Titik didih	226.2 °F (107.89 °C) pada 760 mmHg
Titik leleh	-162 °F (-108 °C)
Densitas	0.802 g/ml pada 25 °C

II.4 Tert-butanol

Tert-butanol digunakan sebagai pelarut dalam industri dan bahan penghilang cat. Kemudian tert-butanol banyak di aplikasikan sebagai oktan booster pada gasoline yang dapat meningkatkan nilai oktan pada gasoline. Selain itu tert-butanol merupakan intermediate chemical yang digunakan untuk memproduksi MTBE.

Tabel 2.3 Properti Tert-Butanol (Lewis, 1997)

Berat molekul	74.112 gr/gmol
Rumus molekul	$C_4H_{10}O$
Titik leleh	26 °C
Titik didih	83 °C
Densitas	0.775 g/ml pada suhu 25°C

II.5Keseimbangan Cair-Cair (LLE)

Sejumlah proses pemisahan yang penting dalam industri seperti absorpsi, ekstraksi, dan distilasi merupakan proses kontak dua fase. Bila fase-fase tersebut tidak berada dalam keseimbangan maka akan terjadi transfer massa antar fase. Laju transfer masing-masing komponen bergantung dari driving force,

dalam hal ini adalah besarnya penyimpangan sistem dari suatu kesetimbangan. Dengan demikian penentuan laju transfer massa memerlukan data kesetimbangan dari sistem tersebut. Kesetimbangan merupakan kondisi statis di mana secara makroskopis tidak ada perubahan property sistem terhadap waktu.

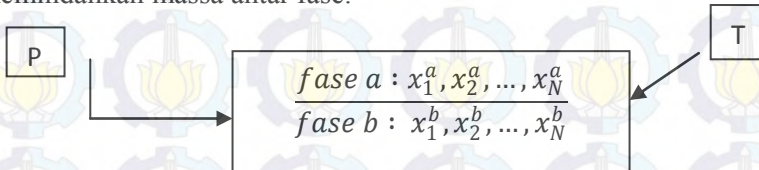
Kesetimbangan termodinamika merupakan terdistribusinya komponen dalam semua fase pada harga potensial kimia (μ) tertentu sehingga terjadi kesamaan potensial kimia masing-masing komponen dalam semua fase yang berada dalam kesetimbangan. Untuk sistem yang membentuk dua fase, misalkan fase a dan fase b, maka harus memenuhi 3 kriteria kesetimbangan termodinamika, yaitu:

$$\text{Kriteria I} : T^a = T^b \quad (2.1)$$

$$\text{Kriteria II} : P^a = P^b \quad (2.2)$$

$$\text{Kriteria III} : \mu^a = \mu^b, i = 1, 2, 3, \dots \quad (2.3)$$

Berikut ini ditinjau sistem tertutup yang terdiri dari dua fase dalam kesetimbangan. Di dalam sistem tertutup ini, tiap fase merupakan sistem terbuka satu sama lain yang bebas untuk memindahkan massa antar fase.



Gambar 2.1 Kesetimbangan fase

Akan tetapi tidak semua sistem memiliki kesamaan potensial kimia pada temperatur dan tekanan tertentu pada kondisi kesetimbangan yang sebenarnya. Kriteria III atau yang disebut juga kriteria isoaktivasi, hanya merupakan syarat perlu (necessary condition) dan bukan syarat cukup (sufficient condition) bagi kesetimbangan mengingat bahwa kesamaan

potensial tidak selalu terjadi pada kondisi kesetimbangan. Kondisi kesetimbangan yang sebenarnya terjadi jika dan hanya jika energi Gibbs pencampuran (Gibbs energy of mixing), ΔmG atau ΔG memiliki nilai minimum.

Kriteria potensial kimia dapat dituliskan dalam bentuk fugasitas maupun aktivitas, dimana aktivitas fase cair di fase a (disebut fase ekstrak) sama dengan aktivitas fase cair di fase b (disebut fase rafinat).

$$\hat{f}_i^a = \hat{f}_i^b \quad (2.4)$$

$$(\gamma_i x_i)^a = (\gamma_i x_i)^b \quad (2.5)$$

Perhitungan kesetimbangan fase pada dasarnya bertujuan untuk menentukan komposisi setiap komponen dalam fase-fase kesetimbangan. Seperti yang telah dinyatakan di atas, pada kondisi kesetimbangan harga ΔG sistem mencapai minimum. Dalam perhitungan, kondisi ΔG lebih mudah dinyatakan dalam bentuk tak berdimensi, $(\Delta G/RT)$ karena bisa dihubungkan langsung dengan besaran tak berdimensi energi gibbs eksese, (G^E/RT) menurut hubungan:

$$\left(\frac{\Delta G}{RT}\right) = \left(\frac{G^E}{RT}\right) + \sum x_i \ln x_i \quad (2.6)$$

Suku $(\Delta G/RT)$ memiliki hubungan secara langsung dengan temperatur, komposisi, dan koefisien aktivitas. Ekspresi yang menghubungkan $(\Delta G/RT)$ dengan komposisi kesetimbangan khususnya LLE dapat dirumuskan dalam berbagai model persamaan antara lain NRTL dan UNIQUAC, yang masing-masing mempunyai parameter sendiri. Kedua model persamaan tersebut dapat diaplikasikan untuk sistem biner, ternary, atau yang lebih tinggi.

$$(\gamma_1 x_1)^a = (\gamma_1 x_1)^b (\gamma_2 x_2)^a = (\gamma_2 x_2)^b (\gamma_3 x_3)^a = (\gamma_3 x_3)^b \quad (2.7)$$

Kesetimbangan cair-cair (LLE) jauh lebih peka terhadap perubahan kecil koefisien aktivitas dari pada kesetimbangan uap-cair (VLE) karena pada kesetimbangan cair-cair, koefisien aktivitas dominan. Ketidaktekelitian kecil pada koefisien aktivitas akan menimbulkan kesalahan besar. Pengaruh perubahan temperatur dalam rentang kecil pada LLE dapat diabaikan. Sedangkan pada VLE, pengaruh temperatur sangat besar. Faktor tekanan memiliki pengaruh yang sangat kecil pada LLE dalam kondisi moderat.

II.6 Korelasi Koefisien Aktifitas Fase Cair

II.6.1 Persamaan NRTL (Non Random Two Liquid)

Persamaan NRTL dikemukakan oleh Renon dan Prauznitz (1968). Persamaan ini diturunkan berdasarkan konsep local composition yang dipelopori oleh Wilson. Persamaan NRTL ini dapat digunakan untuk sistem yang larut sebagian maupun untuk sistem yang larut sempurna. Persamaan ini dapat dipakai secara luas dalam VLE, LLE, dan VLLE untuk berbagai jenis zat, misalnya campuran hidrokarbon jenuh dan spesies polar, campuran senyawa non-polar, campuran spesies non-polar dan polar, campuran air dan spesies polar, dan campuran alkohol dengan campuran spesies non-polar. Untuk sistem non-ideal yang moderat (penyimpangannya sedang), persamaan ini tidak lebih baik dari persamaan Van Laar dan persamaan Margules. Tetapi untuk campuran non-ideal atau untuk larutan yang larut sebagian, persamaan ini dapat diwakili dengan data eksperimen secara cukup baik. Persamaan tersebut dinyatakan untuk sistem multikomponen sebagai berikut :

$$\left(\frac{G^E}{RT}\right) = \sum_i x_i \frac{\sum_j \tau_{ji} G_{ji} x_j}{\sum_k G_{ki} x_k} \quad i,j,k = 1,2,3, \dots, N \quad (2.8)$$

$$\tau_{ji} = \frac{g_{ji} - g_{ii}}{RT} \quad (2.9)$$

$$G_{ji} = \exp(-\alpha_{ji} \tau_{ji}) \quad (2.10)$$

$$g_{ji} = g_{ij} \quad (2.11)$$

$$\alpha_{ji} = \alpha_{ij} \quad (2.12)$$

Koefisien aktifitas untuk sembarang komponen i dinyatakan sebagai berikut:

$$\ln \gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^n \tau_{ji} G_{ji} x_j}{\sum_{k=1}^n G_{ki} x_k} + \sum_{j=1}^n \frac{x_j G_{ij}}{\sum_{k=1}^n G_{kj} x_k} \left(\tau_{ij} - \sum_{k=1}^n \frac{x_k \tau_{kj} G_{kj}}{\sum_{k=1}^n G_{kj} x_k} \right) \quad (2.13)$$

Keuntungan menggunakan Persamaan NRTL :

Pengalaman menunjukan bahwa persamaan model NRTL ini memiliki keandalan yang konsisten dibanding Van Laar dan Margules dalam arti persamaan ini biasanya dapat menangani keadaan-keadaan yang sangat tidak ideal, hanya dengan dua atau tiga parameter yang dapat disesuaikan. Dan persamaan NRTL sesuai untuk sistem multikomponen.

II.6.2 Model Persamaan UNIQUAC (Universal Quasi-Chemical)

Persamaan UNIQUAC dikemukakan oleh Abrams dan Prausnitz (1975) (Polling,1999). Persamaan UNIQUAC dapat diaplikasikan untuk campuran liquid non-elektrolit yang mengandung fluida polar atau non-polar seperti hidrokarbon, alkohol, nitril, keton, aldehid, asam organik dan air termasuk campuran larut sebagian. Persamaan tersebut dipisahkan menjadi dua bagian yaitu bagian kombinatorial yang terdiri dari parameter komponen murni saja untuk menghitung perbedaan bentuk dan ukuran molekul, serta bagian residual yang menggabungkan dua parameter biner tiap pasang molekul untuk menghitung interaksi molekul.

$$g = g^c + g^R \quad (2.14)$$

Untuk sistem multikomponen :

$$g^C = \sum_i x_i \ln \frac{\Phi_i}{x_i} + \frac{z}{2} \sum_i q_i x_i \ln \frac{\theta_i}{\Phi_i} \quad (2.15)$$

$$g^R = - \sum_i q_i x_i \ln \left(\sum_j \theta_j \tau_{ji} \right) \quad i, j, k = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.16)$$

$$\theta_i = \frac{x_i q_i}{\sum_j x_j q_j} \quad (2.17)$$

$$\Phi_i = \frac{x_i r_i}{\sum_j x_j r_j} \quad (2.18)$$

$$\tau_{ji} = \exp \left(- \frac{(u_{ji} - u_{ii})}{RT} \right) \text{ dimana } u_{ii} = u_{jj} = u_{kk} = 0 \quad (2.19)$$

$$u_{ji} = u_{ij} \quad (2.20)$$

Koefisien aktivitas untuk sembarang komponen i dinyatakan sebagai berikut:

$$\ln \gamma_i = \ln \gamma_i^C + \ln \gamma_i^R \quad (2.21)$$

$$\ln \gamma_i^C = \ln \frac{\phi_i}{x_i} + \frac{z}{2} q_i \ln \frac{\theta_i}{\phi_i} + l_i - \frac{\phi_i}{x_i} \sum_j x_j l_j \quad (2.22)$$

$$\ln \gamma_i^R = q_i \left(1 - \ln s_i - \sum_j \theta_j \frac{\tau_{ij}}{s_j} \right) \quad (2.23)$$

$$J_i = \frac{r_i}{\sum_j r_j x_j} \quad (2.24)$$

$$L_i = \frac{q_i}{\sum_j q_j x_j} \quad (2.25)$$

$$s_i = \sum_l \theta_l \tau_{li} \quad (2.26)$$

$$l_i = \frac{z}{2} (r_i - q_i) - (r_i - 1) \quad (2.27)$$

Model UNIQUAC dapat diterapkan untuk memprediksi kesetimbangan uap-cair sistem multi komponen dengan parameter energi interaksi sistem biner. Keuntungan menggunakan persamaan UNIQUAC adalah :

- Hanya mempunyai dua parameter yang dapat disesuaikan.
- Mempunyai ketergantungan yang lebih kecil terhadap suhu.
- Dapat diterapkan pada larutan dengan molekul-molekul yang besar atau kecil sebab variabel konsentrasi primer merupakan fraksi permukaan dan bukan fraksi mol.

II.7 Metode Newton Raphson

Metode pendekatan yang menggunakan satu titik awal dan mendekatinya dengan memperhatikan slope atau gradien pada titik tersebut. Titik pendekatan ke n+1 dituliskan dengan:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{F(x_n)}{F'(x_n)} \quad (2.28)$$

Algoritma:

1. Definisikan fungsi $f(x)$ dan $f'(x)$
2. Tentukan toleransi error (e) dan iterasi maksimum (n)
3. Tentukan nilai pendekatan awal x_0
4. Hitung $f(x_0)$ dan $f'(x_0)$
5. Untuk iterasi $I = 1$ s/d n atau $|f(x_i)| > e$
 - Hitung $f(x_i)$ dan $f'(x_i)$

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)} \quad (2.29)$$

6. Akar persamaan adalah nilai x_i yang terakhir diperoleh

II.8 Perhitungan Deviasi Hasil Eksperimen dan Prediksi

Untuk mengetahui deviasi antara hasil eksperimen dengan hasil prediksi digunakan metode Root Mean Square Deviation (RMSD). Perhitungan % RMSD menggunakan persamaan berikut:

$$\%RMSD_{komponen} = 100\% \times \sqrt{\frac{\sum_k^n \sum_j \sum_i (x_{ijk}^{eksperimen} - x_{ijk}^{prediksi})^2}{6n}} \quad (2.30)$$

Dimana:

k = tie line = 1, 2, 3, ..., n

i = komponen

j = fase (organik atau aqueous)

Berdasarkan persamaan di atas maka akan didapatkan % RMSD berdasarkan model paramater NRTL dan UNIQUAC.

II.9 Korelasi Bachman-Brown

Reliabilitas data hasil eksperimen kesetimbangan cair-cair (LLE) dapat diuji dengan cara tes konsistensi data tie-line menggunakan persamaan empiris yang diturunkan dari hukum distribusi Nernst. Tahapan ini dapat dilakukan dengan berbagai

jenis korelasi. Namun jenis korelasi yang paling banyak digunakan adalah korelasi Bachman-Brown. Brown (1946) memodifikasi persamaan yang diajukan oleh Bachman (1940) untuk menghasilkan korelasi Bachman-Brown. Korelasi Bachman-Brown digunakan untuk memastikan reliabilitas dari data eksperimen. Korelasi ini menghasilkan regresi R-Squared (RSQ) yang memberikan gambaran dari data eksperimen dengan plot data x_1^I/x_3^{II} vs x_1^I ,

$$\frac{x_1^I}{x_3^{II}} = AX_1^I + B \quad (2.31)$$

Dimana A dan B adalah Bachman-Brown sedangkan parameter x_1^I adalah fraksi mol dari DEC di fase organik dan x_3^{II} adalah mol fraksi air di fase aqueous.



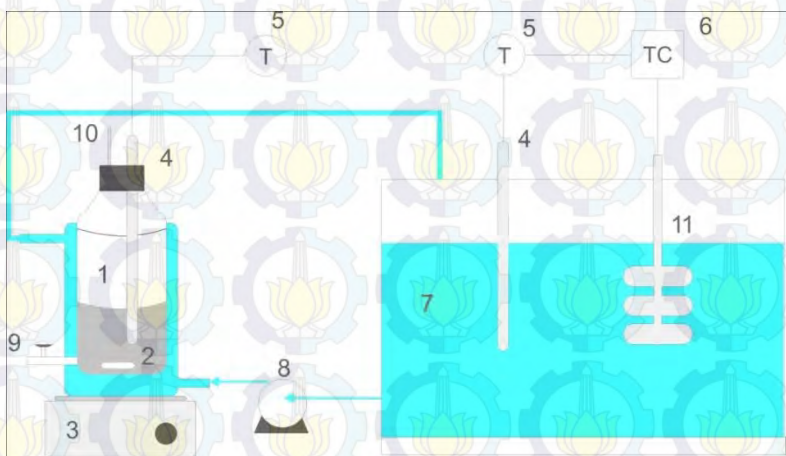
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Secara garis besar penelitian ini dilakukan dengan eksperimen untuk mendapatkan data kesetimbangan cair-cair dalam fase organik dan fase *aqueous*. Selanjutnya fase organik dan fase *aqueous* hasil eksperimen tersebut dianalisa dengan menggunakan *Gas Chromatography* (GC) untuk mengetahui komposisi kesetimbangan fase. Langkah selanjutnya adalah memprediksi kesetimbangan berdasarkan korelasi model persamaan NRTL dan UNIQUAC.

III.1 Peralatan Eksperimen

Percobaan ini menggunakan *equilibrium cell* yang dilengkapi dengan jaket pemanas untuk menjaga suhu agar tetap konstan serta magnetik stirrer untuk membuat larutan teraduk sempurna. Pada Gambar 3.1 menunjukkan bahwa *equilibrium cell* yang terangkai yang dilengkapi dengan *PID controller* dan *RTD Pt100* untuk mengatur suhu air sirkulasi.



Gambar 3.1 Peralatan Eksperimen

Keterangan : 1. Equilibrium Cell, 2. Stirrer, 3. Magnetic Stirrer, 4. RTD Pt100, 5. Temperatur Display, 6. PID Controller ANLY AT-502, 7. Waterbath, 8. Pompa, 9. Sampling port, 10. Pipa kapiler yang terhubung dengan udara luar 11. Heater

Sedangkan untuk analisa digunakan peralatan neraca analitik OHAUS tipe AP210, *microliter syringe* Shimadzu, dan Shimadzu GC 2010 Plus dengan TCD *Detector*. Rincian mengenai peralatan eksperimen adalah sebagai berikut:

1. *Equilibrium cell* dengan volume maksimal 50 mL.
2. Ketidakpastian dan akurasi pengukuran dari alat *Autonics RTD Pt100* dan *PID Controller ANLY AT-502* adalah $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $\pm 1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$.
3. Ketidakpastian dan akurasi pengukuran dari neraca analitik OHAUS tipe AP210 adalah $\pm 0.1\text{ mg}$.
4. Kapasitas maksimum dan ketidakpastian pengukuran dari *microliter syringe* Shimadzu adalah $10\text{ }\mu\text{L}$ dan $\pm 0.1\text{ }\mu\text{L}$.
5. Standar deviasi Shimadzu GC 2010 Plus adalah 0.1 \% area .

III.2 Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah *Diethyl Carbonate* yang diperoleh dari Wuhan Fortuna Chemical Co., LTD, China, dengan kemurnian 99%, Isobutanol p.a (MERCK) dengan kemurnian 99.9%, Tert-butanol p.a (MERCK) dengan kemurnian 99.9%, dan Aquabidesilata (IKAPHARMINDO PUTRAMAS).

III.3 Scope Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran kesetimbangan cair-cair untuk sistem DEC – Isobutanol – H_2O dan DEC – Tert-butanol – H_2O pada suhu 303.15 dan 313.15 K pada tekanan atmosfer

III.4 Prosedur Eksperimen

III.4.1 Eksperimen

Tahap percobaan dilakukan untuk memperoleh data kesetimbangan fase. Percobaan dilakukan dengan cara mencampurkan bahan yang telah diketahui komposisinya ke dalam *equilibrium cell*. Peralatan ini dilengkapi dengan *magnetic stirrer* dan jaket untuk sirkulasi air sebagai pemanas sesuai suhu yang dikehendaki. Campuran kemudian diaduk pada suhu 303.15 dan 313.15 K pada tekanan atmosferik selama 4 jam. Setelah 4 jam pengadukan dihentikan, kemudian campuran dibiarkan hingga tercapai kesetimbangan selama 20 jam. Setelah kesetimbangan tercapai pada masing-masing fase diambil sampel untuk dianalisa komposisinya memakai *Gas Chromatography* (GC) Shimadzu 2010 Plus menggunakan kolom Rtx-5 untuk analisa sistem DEC – Isobutanol – H₂O dan sistem DEC – Tert-butanol – H₂O.

III.4.2 Analisa Komposisi

Analisa komposisi sistem terner DEC – Isobutanol – H₂O dan DEC – Tert-butanol – H₂O dianalisa menggunakan *Gas Chromatography*. Metode yang pertama untuk sistem terner DEC – Isobutanol – H₂O menggunakan *carrier gas* helium dengan laju alir gas 2 mL/menit, *purge flow* 3 mL/menit, *column flow* 0.56 mL/menit dan split ratio 50:1. Selain itu, suhu injector dan suhu detector yang digunakan adalah 300 °C, kemudian suhu kolom dijaga pada suhu 90 °C dengan waktu analisa tiap sampel adalah 5 menit. Metode yang kedua untuk sistem DEC – Tert-butanol – H₂O menggunakan *carrier gas* helium dengan laju alir gas 2 mL/menit, *purge flow* 3 mL/menit, *column flow* 0.56 mL/menit dan split ratio 60:1. Selain itu, suhu injector dan suhu detector yang digunakan adalah 200 °C, kemudian suhu kolom dijaga pada suhu 70 °C dengan waktu analisa tiap sampel adalah 6.5 menit. Setelah kondisi analisa GC tersebut tercapai, sampel sebesar 1 microliter diinjeksikan ke dalam kolom. Hasil kuantitatif sampel dideteksi menggunakan detector jenis TCD (*Thermal conductivity Detector*). *Detector* jenis TCD ini untuk mendeteksi

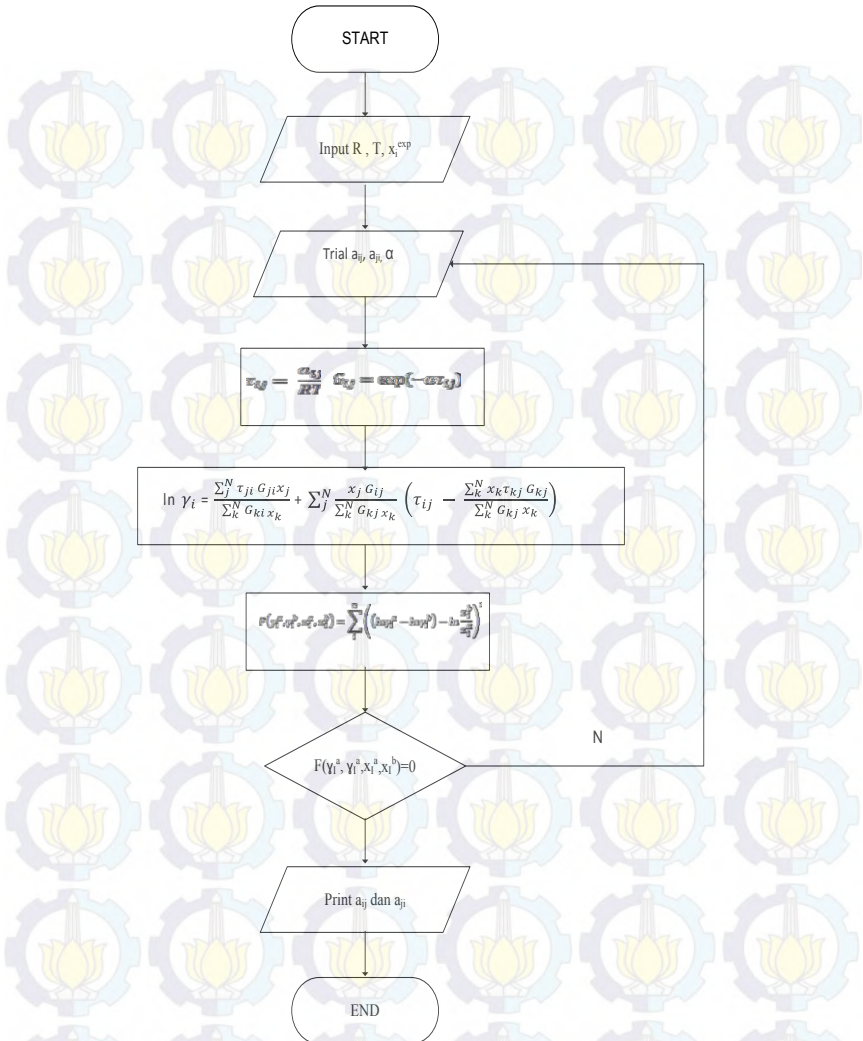
senyawa-senyawa berdasarkan perbedaan penghantar panas. Hasil yang didapatkan berupa grafik yang dapat diketahui retention time dan fraksi area masing-masing zat.

III.5 Metodologi Penelitian

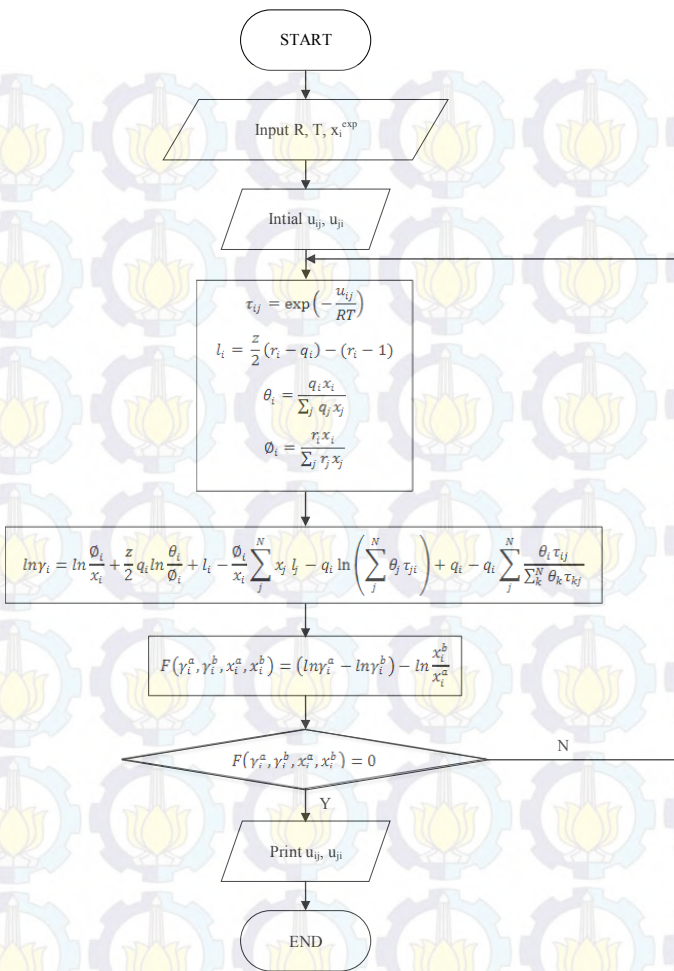
Penelitian ini dimulai dengan melakukan eksperimen menggunakan alat *equilibrium cell* sehingga terbentuk larutan 2 layer. Setelah terbentuk larutan 2 layer yaitu fase *aqueous* dan fase *organic* dianalisa menggunakan *gas chromatography*. Data eksperimen dikorelasikan menggunakan persamaan NRTL dan UNIQUAC. Hasil tersebut di plot dalam diagram terner eksperimen dan korelasi, sehingga diperoleh data kesetimbangan.

III.6 Diagram Blok Perhitungan Koefisien Aktivitas dan Fitting Parameter

Untuk menghitung koefisien aktifitas kesetimbangan cair-cair sistem terner DEC + Isobutanol + H₂O dan DEC + Tert-butanol + H₂O ini digunakan persamaan UNIQUAC dan NRTL menggunakan program solver dengan metode *Newton Raphson*. Berikut ini adalah langkah-langkah untuk menghitung koefisien aktifitas dengan menggunakan persamaan NRTL.

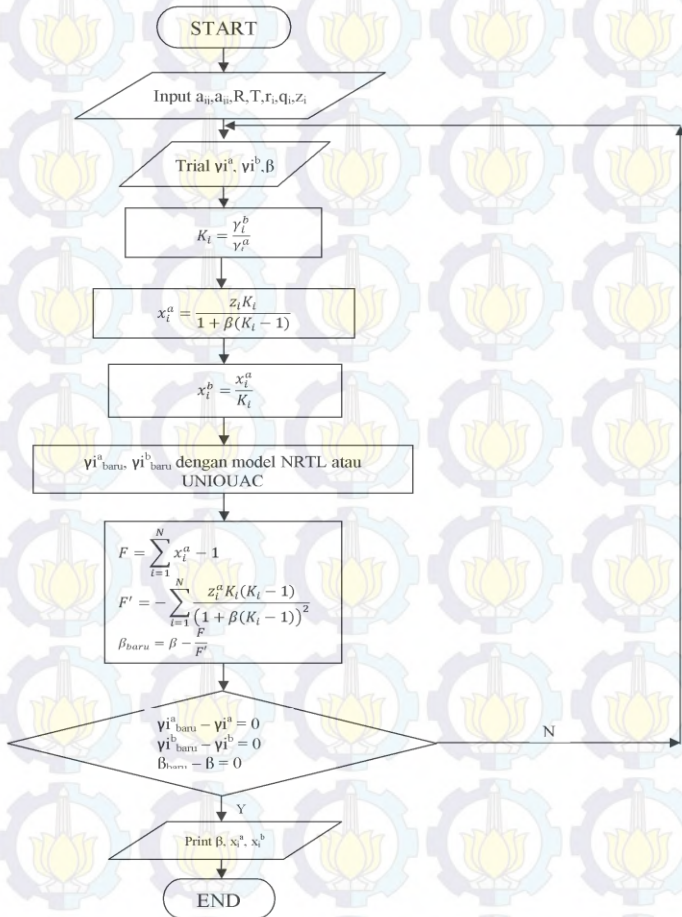


Gambar 3.2 Diagram alir perhitungan parameter dengan persamaan NRTL



Gambar 3.3 Diagram alir perhitungan parameter dengan persamaan UNQUAC

Dalam penentuan komposisi komponen, dilakukan beberapa tahap perhitungan sebagai berikut.



Gambar 3.4 Diagram alir perhitungan komposisi kesetimbangan



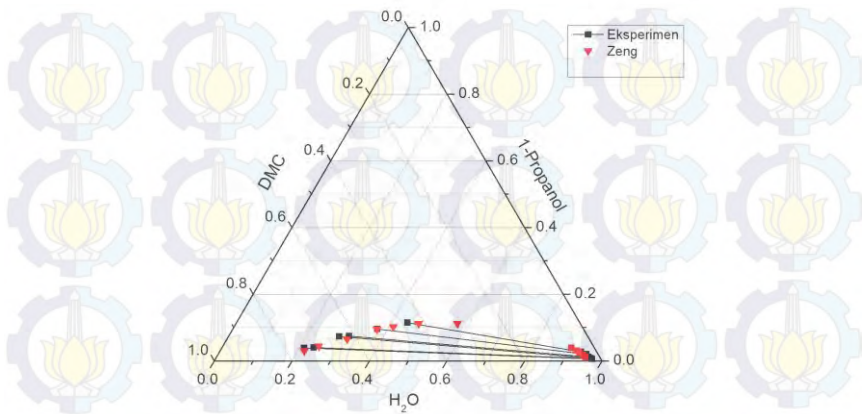
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

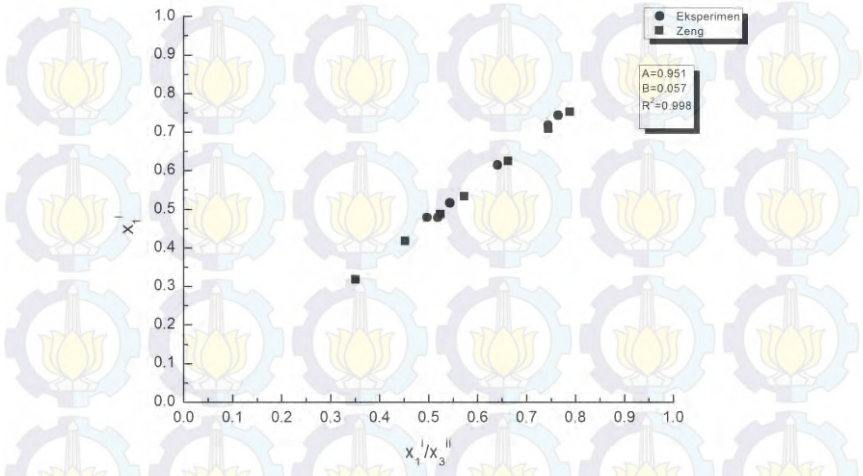
IV.1 Hasil dan Pembahasan Eksperimen

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kesetimbangan fase cair-cair sistem Dietil Karbonat + Isobutanol + H₂O dan sistem Dietil Karbonat + Tert-Butanol + H₂O pada suhu 303.15 dan 313.15 K dengan tekanan atmosferik. Data penelitian ini kemudian dikorelasikan menggunakan persamaan UNIQUAC dan NRTL. Kedua persamaan ini dipilih karena dapat diterapkan pada kesetimbangan cair-cair (LLE) sistem biner maupun multikomponen pada berbagai jenis campuran. Hasil persamaan korelasi kedua model diatas diharapkan dapat digunakan untuk interpolasi dan ekstrapolasi kesetimbangan fase sistem tersebut.

Dalam penelitian ini, dilakukan validasi alat dengan cara membandingkan hasil eksperimen penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Zeng *et al.* (2013) dengan hasil eksperimen yang dilakukan dengan alat yang ada di Laboratorium Termodinamika. Selain itu, konsistensi data tie line dikonfirmasi menggunakan korelasi Bachman-Brown (persamaan 2.31). Hasil validasi yang disajikan pada Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan bahwa data hasil eksperimen yang dilakukan dengan peralatan yang dikembangkan di Laboratorium Termodinamika telah sesuai dengan data eksperimen Zeng *et al.* (2013) dan plot garis linier pada grafik Bachman-Brown menunjukan data yang ditunjukkan sudah valid, sehingga dapat disimpulkan bahwa alat yang digunakan dalam eksperimen ini telah tervalidasi dan siap untuk digunakan.



Gambar 4.1 LLE Sistem DMC + 1-Propanol + H₂O pada 303.15 K eksperimen dan literatur



Gambar 4.2 Korelasi Bachman-Brown Sistem DMC + 1-Propanol + H₂O pada 303.15 K

Pada eksperimen kesetimbangan cair-cair sistem Dietil Karbonat (1) + Isobutanol (2) + H₂O (3) pada suhu 303.15 dan 313.15 K terdistribusi menjadi dua fase (fase atas dan bawah). Komposisi data kesetimbangan sistem ini diperoleh dari hasil analisa dengan menggunakan *Gas Chromotography* (GC). Adapun data kesetimbangan cair-cair hasil eksperimen yang diperoleh untuk sistem Dietil Karbonat (1) + Isobutanol (2) + H₂O (3) untuk suhu 303.15 dan 313.15 K ditunjukkan oleh Tabel 4.1. Sedangkan untuk sistem Dietil Karbonat (1) + Tert-Butanol (2) + H₂O (3) pada suhu 303.15 dan 313.15 K dapat dilihat pada tabel 4.2.

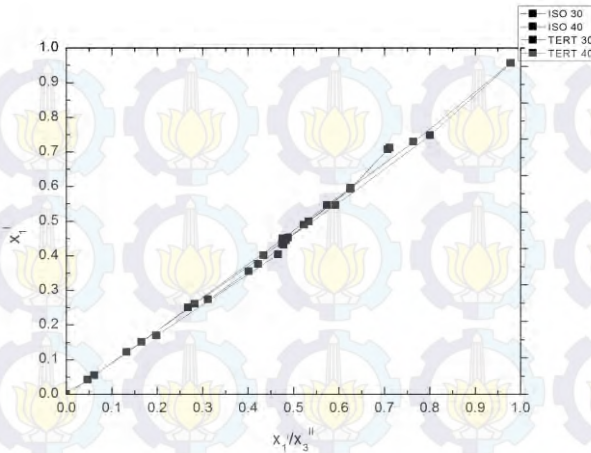
Tabel 4.1 Data eksperimen kesetimbangan cair-cair sistem Dietil Karbonat (1) + Isobutanol (2) + H₂O (3)

T(K)	Fase Aqueous			Fase Organik		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
303.15	0.0224	0	0.9776	0.9569	0	0.0431
	0.0328	0.0327	0.9345	0.7482	0.1319	0.1199
	0.0400	0.0386	0.9215	0.5456	0.2190	0.2355
	0.0296	0.0470	0.9234	0.4012	0.2799	0.3189
	0.0204	0.0576	0.9219	0.2608	0.2912	0.4481
	0.0179	0.0663	0.9159	0.1214	0.2910	0.5876
	0.0193	0.0977	0.8831	0.0542	0.2515	0.6944
	0	0.1105	0.8895	0	0.2344	0.7656
313.15	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
	0.0221	0	0.9779	0.9567	0	0.0433
	0.0273	0.0196	0.9531	0.7287	0.1156	0.1558
	0.0268	0.0212	0.9520	0.5462	0.2118	0.2420
	0.0236	0.0326	0.9439	0.4495	0.2511	0.2994
	0.0270	0.0420	0.9311	0.2500	0.2744	0.4756
	0.0361	0.0600	0.9039	0.1502	0.2627	0.5871
	0.0315	0.0773	0.8913	0.0419	0.2335	0.7246
	0	0.0966	0.9034	0	0.2231	0.7769

Tabel 4.2 Data eksperimen kesetimbangan cair-cair sistem Dietil Karbonat (1) + 2-butanol (2) + H₂O (3)

T(K)	Fase Aqueous			Fase Organik		
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁	x ₂	x ₃
303.15	0.0001	0	0.9999	0.7074	0	0.2926
	0.0001	0.0527	0.9472	0.5925	0.0915	0.3160
	0.0001	0.0662	0.9337	0.4985	0.1488	0.3527
	0.0001	0.0829	0.9170	0.4439	0.1544	0.4018
	0.0001	0.0992	0.9007	0.4312	0.1585	0.4103
	0.0001	0.1114	0.8885	0.3754	0.1626	0.4619
	0.0001	0.1144	0.8855	0.3551	0.1714	0.4735
	0.0001	0.1233	0.8766	0.2739	0.1784	0.5477
313.15	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁	x ₂	x ₃
	0.0001	0	0.9999	0.7121	0	0.2879
	0.0001	0.0490	0.9509	0.5954	0.0855	0.3190
	0.0001	0.0661	0.9338	0.4887	0.1371	0.3742
	0.0001	0.0745	0.9254	0.4521	0.1630	0.3849
	0.0001	0.0852	0.9147	0.4350	0.1736	0.3914
	0.0001	0.1341	0.8658	0.4037	0.1784	0.4179
	0.0001	0.1479	0.8520	0.1690	0.1745	0.6566

Selanjutnya data eksperimen dikorelasikan dengan persamaan Bachman-Brown yang digunakan untuk memastikan *reliability* dari data eksperimen. Korelasi ini memberikan gambaran dari data eksperimen untuk kedua sistem (DEC + Isobutanol + H₂O dan DEC + Tert-butanol + H₂O). Korelasi Bachman-Brown untuk kedua sistem pada suhu 303.15 K dan 313.15 K ditampilkan pada **Gambar 4.3**.



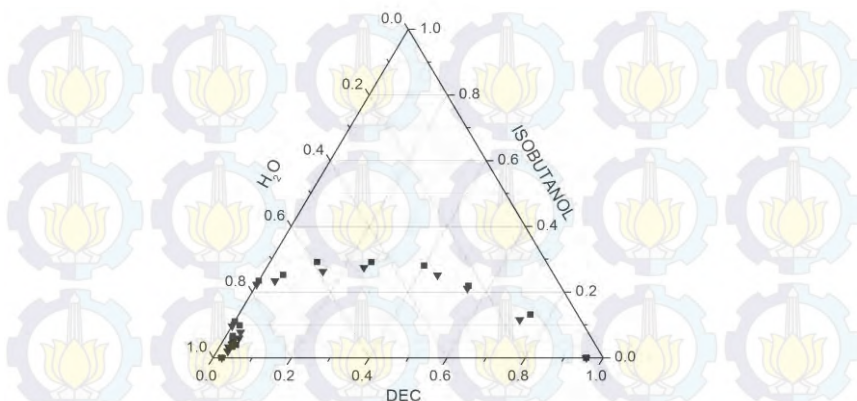
Gambar 4.3 Korelasi Bachman-Brown ternery system DEC + Isobutanol + H₂O dan DEC + Tert-butanol + H₂O pada 303.15 K dan 313.15 K

Tabel 4.3 Bachman-Brown parameter

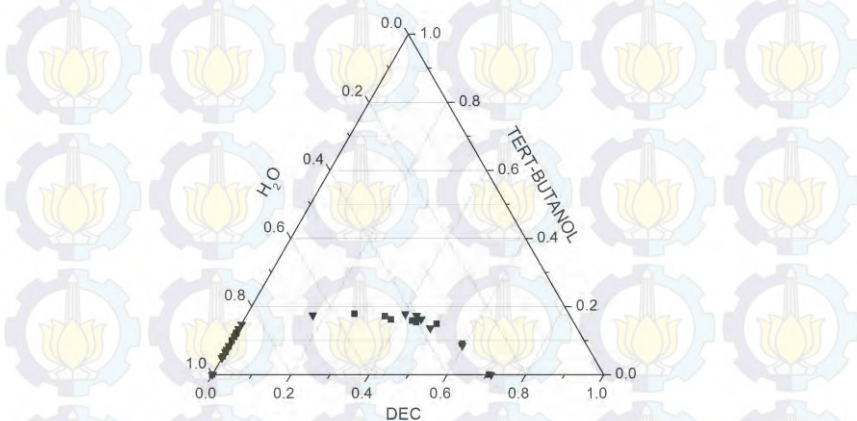
Suhu	Parameter	Isobutanol	Tert-butanol
303.15 K	A	0.962	1.094
	B	0.008	0.082
	²		
	R	0.998	0.994
313.15 K	A	0.973	1.047
	B	0.008	0.057
	²		
	R	0.999	0.990

Berdasarkan Gambar 4.3 dan Tabel 4.3 terlihat bahwa hasil korelasi menunjukkan regresi untuk kedua sistem mendekati 1. Hal ini menunjukkan bahwa data eksperimen sudah valid dan *reliable*.

Kemudian data komposisi hasil eksperimen pada masing-masing suhu operasi digambarkan dalam diagram LLE sistem terner yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Hasil Eksperimen Kesetimbangan Cair-Cair Sistem DEC (1) + Isobutanol (2) + H₂O (3) pada Suhu (▪) 303.15 K ; (▼) 313.15 K



Gambar 4.5 Hasil Eksperimen Kesetimbangan Cair-Cair Sistem DEC (1) + Tert-butanol (2) + H₂O (3) pada (▪) 303.15 K ; (▼) 313.15 K

Berdasarkan Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 terlihat komposisi kesetimbangan untuk kedua sistem pada suhu 303.15 K dan 313.15 K baik di fase organik maupun di fase aqueous. Untuk sistem DEC (1) + Isobutanol (2) + H₂O (3) merupakan sistem dengan Treyball tipe II karena sistem tersebut memiliki 2 pasangan senyawa yang tidak larut sempurna yaitu antara DEC (1) + H₂O (3) dan Isobutanol (2) + H₂O (3) sedangkan untuk sistem DEC (1) + Tert-Butanol (2) + H₂O (3) merupakan sistem dengan Treyball tipe I karena sistem tersebut memiliki 1 komponen senyawa yang tidak larut sempurna yaitu DEC (1) + H₂O (3).

Kecenderungan gugus polar -OH di dalam alkohol mempengaruhi besar nya kelarutan Alkohol dengan Air dimana semakin panjang rantai karbon pada alkohol akan mengurangi kelarutannya di dalam air. Dimana rantai karbon merupakan senyawa bersifat hidropobik sedangkan pada gugus OH bersifat hidrofilik sehingga semakin luas nya bagian hidropobik mengakibatkan berkurang nya kelarutan terhadap air. Tert-Butanol merupakan senyawa yang larut sempurna pada air, dimana ini terjadi karena senyawa hidrofilik lebih kuat terhadap gugus alkilnya sedangkan pada Isobutanol terjadi *gap* kelarutan terhadap Air dan ini terjadi karena luas area gugus alkil yang cukup besar.

Dari diagram LLE tersebut juga dapat disimpulkan bahwa untuk sistem DEC (1) + Isobutanol (2) + H₂O (3) dan DEC (1) + Tert-Butanol (2) + H₂O (3) suhu tidak berpengaruh secara signifikan terhadap data kesetimbangan. Ini dapat dilihat bahwa daerah dua fase pada kedua sistem ini tidak jauh berbeda antara suhu 303.15 dan 313.15 K. Sehingga dapat disimpulkan bahwa (DEC + Isobutanol) dan (DEC + Tert-butanol) cocok untuk digunakan sebagai aditif untuk blending gasoline, dimana penurunan suhu pada tangki dan storage campuran gasoline tidak akan meningkatkan resiko terjadinya *phase-splitting*.

Data yang diperoleh untuk kedua sistem dapat digunakan sebagai acuan dalam blending gasoline. Pada umumnya dalam

blending gasoline terdiri dari 80-85 % gasoline dan 15-20 % zat aditif (DEC + Alkohol). Dalam hal ini perbandingan komposisi antara DEC dan alkohol dapat ditentukan berdasarkan diagram terner yang diperoleh untuk kedua sistem. Berdasarkan Gambar 4.4-4.5 dapat dilihat bahwa untuk sistem DEC+Isobutanol+H₂O, campuran gasoline dengan perbandingan DEC:Isobutanol sebesar 4:1 akan mulai terjadi phase-splitting apabila *water content* pada campuran mencapai 2%, sedangkan untuk sistem DEC+Tert-butanol+H₂O memiliki toleransi H₂O yang lebih besar, yaitu sekitar 8%. Sehingga dalam perancangan blending gasoline, perbandingan antara DEC dan Alkohol yang digunakan perlu diperhatikan untuk meminimalisir resiko terjadinya phase-splitting campuran gasoline pada tangki bahan bakar dan *storage gasoline*. Karena adanya ikatan hidrogen pada gasoline dan gugus hidroksil pada butanol yang bersifat higroskopis sehingga blending gasoline + aditif sebaiknya dilakukan setelah pendistribusian untuk meminimalisir campuran gasoline menyerap H₂O berlebih.

IV.2. Hasil Prediksi Kesetimbangan

IV.2.1. Penentuan Parameter

Data hasil eksperimen yang diperoleh dikorelasikan dengan menggunakan persamaan NRTL dan UNIQUAC yang digunakan untuk sistem multikomponen. Penentuan parameter (*fitting*) dengan model NRTL, harga α untuk sistem kesetimbangan cair-cair campuran polar dan non polar berkisar antara 0.2-0.47. Pada perhitungan kali ini, dilakukan perhitungan menggunakan harga α sebesar 0.2, 0.3 dan 0.4 seperti terlihat pada Tabel 4.5. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa nilai $\alpha = 0.2$ menghasilkan % RMSD lebih kecil daripada menggunakan $\alpha = 0.3$ dan 0.4, terlihat $\alpha = 0.2$ paling baik dalam mengkorelasikan data eksperimen menggunakan persamaan NRTL. Sedangkan penentuan parameter (*fitting*) dengan persamaan UNIQUAC ditentukan terlebih dahulu harga luas permukaan molekular (q) dan volume molekular (r) untuk tiap-tiap komponen. Pengujian validitas dilakukan

berdasarkan acuan harga *root square mean deviation* (RMSD) yaitu penyimpangan absolute rata-rata komposisi antara data eksperimen dan hasil perhitungan menggunakan persamaan model. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan harga RMSD persamaan UNIQUAC dan NRTL pada masing-masing temperatur. Adapun hasil parameter yang diperoleh dengan persamaan NRTL dan UNIQUAC ditunjukkan pada tabel 4.4 – 4.5. Sedangkan parameter UNIQUAC yang digunakan dalam melakukan perhitungan persamaan UNIQUAC disajikan dalam tabel 4.4.

Tabel 4.4 UNIQUAC Parameter Luas dan Volume molekul (Aspen Plus v27.0 Database)

Chemicals	UNIQUAC	
	R	Q
DEC	4.39684	3.896
Isobutanol	3.45353	3.048
Tert-butanol	3.7013	3.492
H ₂ O	0.92	1.4

Tabel 4.5 Hasil parameter model NRTL

Sistem	NRTL parameter (K)			α	% RMSD
	i-j	a _{ij}	a _{ji}		
DEC +	1-2	-1450.3	1497.56	0.2	0.7
Isobutanol +	2-3	1078.46	879.49		
H ₂ O	1-3	2440.13	-133.22		
DEC + Tert-butanol + H ₂ O	1-2	12360.2	6708.56	0.2	0.5
	2-3	-1085.8	2015.35		
	1-3	840.37	5054.74		
DEC +	1-2	1050.42	-1923.7	0.3	0.9
Isobutanol +	2-3	268.08	1278.43		
H ₂ O	1-3	2453.8	36.24		
DEC + Tert-butanol + H ₂ O	1-2	5030.14	4101.69	0.3	0.6
	2-3	94.54	1973.95		

	1-3	5529.98	5295.07		
DEC +	1-2	825.77	-2474.4		
Isobutanol +	2-3	497.34	1096.62	0.4	1
H ₂ O	1-3	2580.22	172.82		
DEC + Tert-	1-2	3954.8	3849		
butanol + H ₂ O	2-3	232.51	1659.84	0.4	0.6
	1-3	4184.25	5422.74		

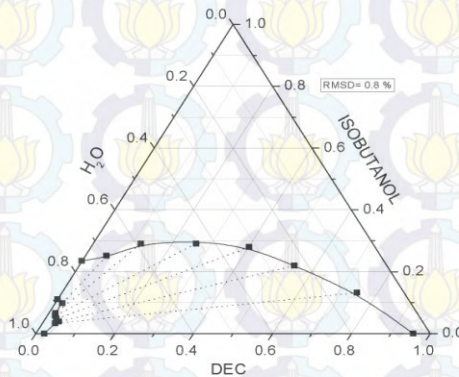
Tabel 4.6 Hasil parameter model UNIQUAC

Sistem	UNIQUAC parameter (K)			% RMSD
	i-j	aij	aji	
DEC + Isobutanol + H ₂ O	1-2	65.5	115.9	0.6
	2-3	-33.24	110.5	
	1-3	438.26	134.97	
DEC + Tert-butanol + H ₂ O	1-2	329.38	7535.25	0.5
	2-3	257.32	255.31	
	1-3	209.17	435.78	

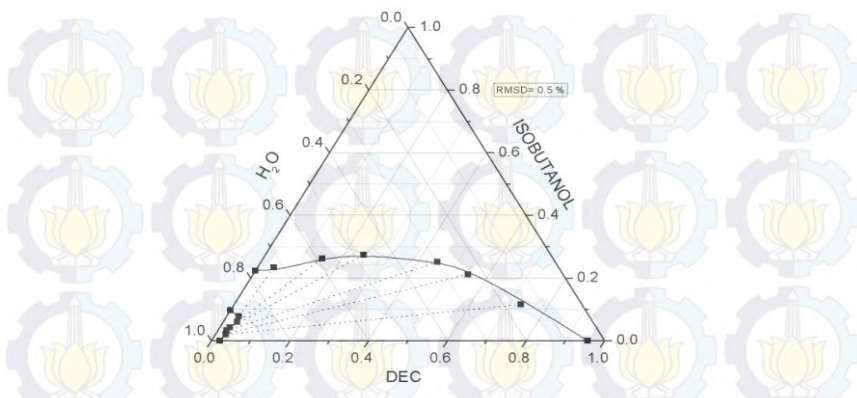
Fitting parameter dilakukan dengan menggunakan satu data parameter untuk suhu 303.15 K dan suhu 313.15 K pada masing-masing sistem. Hasil yang didapatkan sangat baik sehingga parameter tunggal ini juga bisa digunakan untuk merepresentasikan data-data kesetimbangan untuk suhu 303.15 K – 313.15 K. Berdasarkan hasil korelasi pada Tabel 4.5 – 4.6 persamaan UNIQUAC dan NRTL menunjukkan hasil yang baik. Hal ini dapat dilihat melalui nilai RMSD (*Root Mean Square Deviation*) pada kedua persamaan (UNIQUAC dan NRTL) yang menunjukkan nilai RMSD kurang dari 1 %.

IV.2.2. Korelasi Data Kesetimbangan

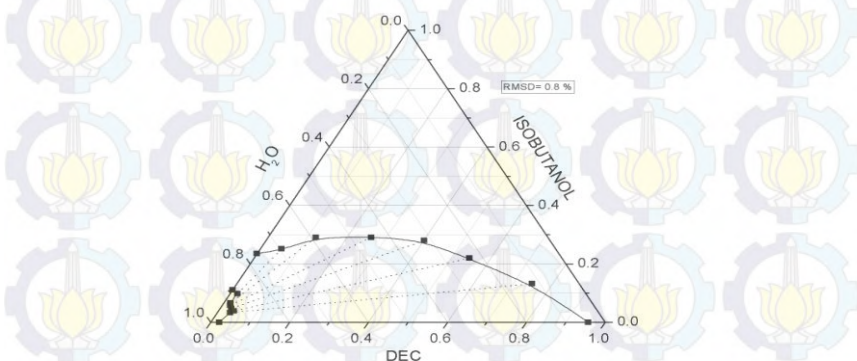
Korelasi data kesetimbangan sistem terner Dietil Karbonat + Isobutanol + H_2O dan sistem Dietil Karbonat + Tert-butanol + H_2O dengan menggunakan persamaan NRTL dan UNIQUAC ditunjukkan pada Gambar 4.6 sampai Gambar 4.13.



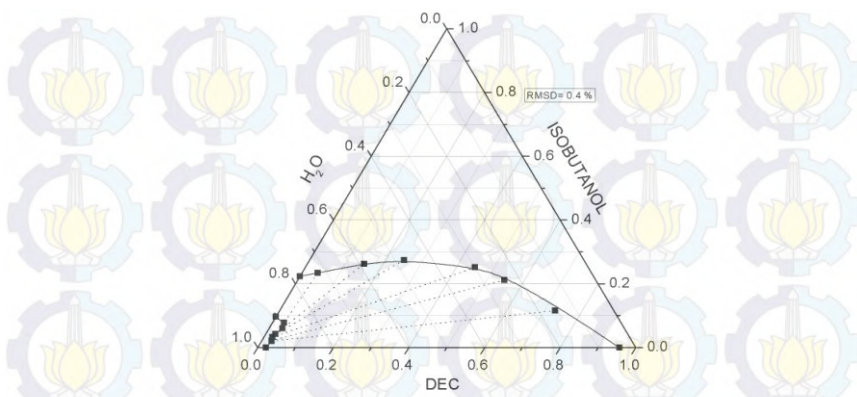
Gambar 4.6 Diagram Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Terner DEC (1) + Isobutanol (2) + H_2O (3) pada Suhu 303.15 K ;
(■) Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan NRTL



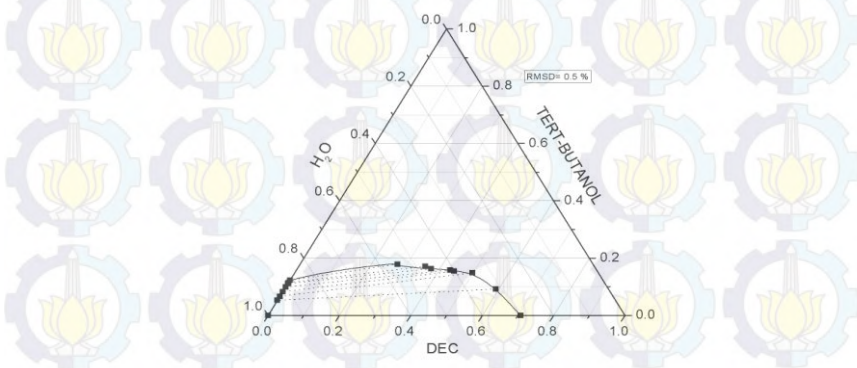
Gambar 4.7 Diagram Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Ternar DEC (1) + Isobutanol (2) + H₂O (3) pada Suhu 313.15 K ;
 (■)Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan NRTL



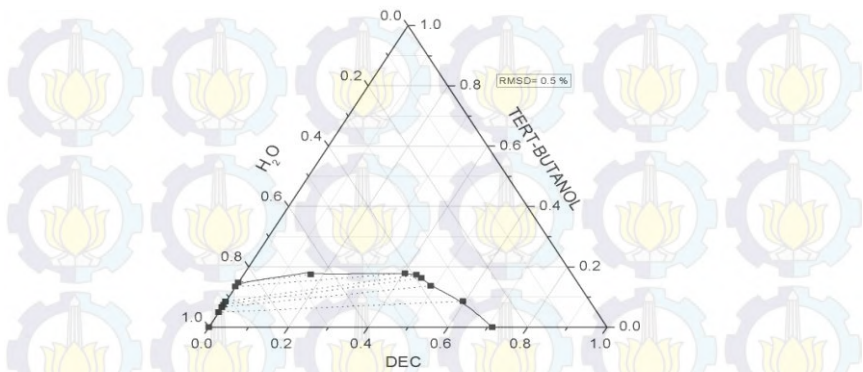
Gambar 4.8 Diagram Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Ternar DEC (1) + Isobutanol (2) + H₂O (3) pada Suhu 303.15 K ;
 (■)Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan UNIQUAC



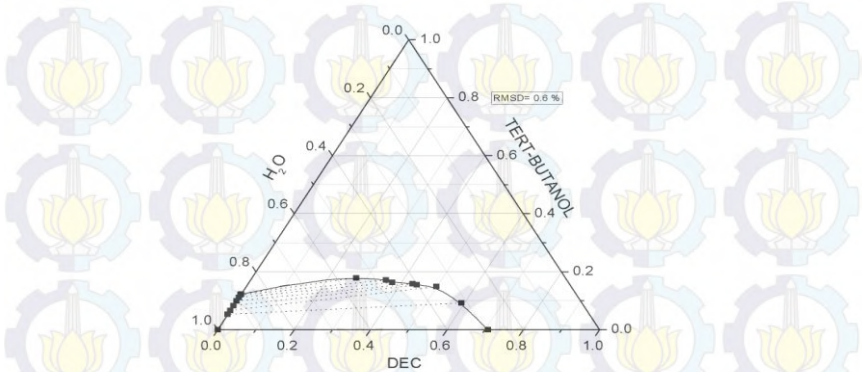
Gambar 4.9 Diagram Kestimbangan Cair-Cair Sistem Ternar DEC (1) + Isobutanol (2) + H₂O (3) pada Suhu 313.15 K ; (■)Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan UNIQUAC



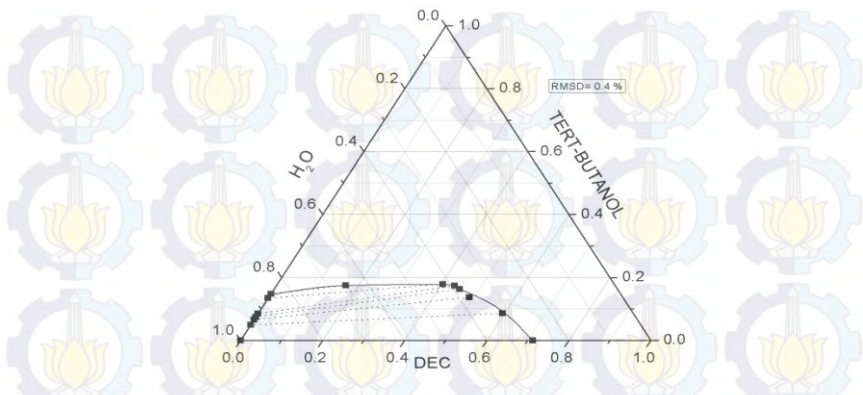
Gambar 4.10 Diagram Kestimbangan Cair-Cair Sistem Ternar DEC (1) + Tert-butanol (2) + H₂O (3) pada Suhu 303.15 K ; (■)Data Eksperimen ; (---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan NRTL



Gambar 4.11 Diagram Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Terner DEC (1) + Tert-butanol (2) + H₂O (3) pada Suhu 313.15 K ; (■)Data Eksperimen ;(---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan NRTL



Gambar 4.12 Diagram Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Terner DEC (1) + Tert-butanol (2) + H₂O (3) pada Suhu 303.15 K ; (■)Data Eksperimen ;(---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan UNIQUAC



Gambar 4.13 Diagram Keseimbangan Cair-Cair Sistem Ternar DEC (1) + Tert-butanol (2) + H₂O (3) pada Suhu 313.15 K ;
 (■)Data Eksperimen ;(---) Tie Line Eksperimen ; (—) Persamaan UNIQUAC

Berdasarkan Gambar diatas dapat dilihat bahwa persamaan NRTL dan UNIQUAC dapat merepresentasikan data keseimbangan LLE dengan sangat baik. Hal ini dapat juga dilihat dari nilai RMSD pada masing-masing persamaan untuk sistem DEC + Isobutanol +H₂O menggunakan persamaan NRTL dan UNIQUAC sebesar 0.7 % dan 0.6 %. Sistem DEC+ Tert-butanol + H₂O menggunakan persamaan NRTL dan UNIQUAC sebesar 0.5 % dan 0.5 %.



BAB V

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Data kesetimbangan cair-cair yang akurat telah berhasil diperoleh secara eksperimen untuk sistem DEC + Isobutanol + H₂O dan sistem DEC + Tert-butanol + H₂O pada temperatur 303.15 K dan 313.15 K dan tekanan atmosfer.
2. Pengaruh suhu pada rentang 303.15-313.15 K tidak signifikan terhadap tie line dan kurva binodal dari kedua sistem yang diteliti.
3. Data LLE kedua sistem terner yang diteliti dapat dikorelasikan dengan baik menggunakan persamaan NRTL dan UNIQUAC dengan RMSD masing-masing 0.7 dan 0.6 % untuk sistem DEC+ Isobutanol + H₂O dan 0.5 % untuk sistem DEC+ Tert-butanol + H₂O.



DAFTAR NOTASI

a_{ij}	= Parameter aktivitas campuran biner (j/mol)
b_{12}, b_{21}	= Parameter NRTL (j/mol)
f_i	= Fugasitas komponen murni i
G, g	= Energi Gibbs molar
G^E	= Energi Gibbs excess
j	= Parameter Persamaan UNIQUAC
K	= Konstanta kesetimbangan
l	= Parameter Persamaan UNIQUAC
n	= Jumlah mol
P	= Tekanan absolut (kPa)
P_i^{sat}	= Tekanan uap jenuh komponen I (kPa)
q	= Luas permukaan molekular pada persamaan UNIQUAC
R	= Konstanta gas ideal ($8.314 \text{ j} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
r	= Volume molekular pada persamaan UNIQUAC
T	= Temperatur (K)
u_{12}, u_{21}	= Parameter UNIQUAC
V_i	= Volum molar komponen I (cm^3/mol)
x_i	= Fraksi mol komponen fase liquida pada kesetimbangan
y_i	= Fraksi mol komponen fase uap pada kesetimbangan
z	= Fraksi mol <i>overall</i> komponen
Huruf Greek	
α	= Parameter untuk persamaan NRTL
β	= <i>split fraction</i>
γ	= Koefisien aktivitas
θ	= <i>Area fraction</i>
ϕ	= Koefisien fugasitas
Σ	= notasi penjumlahan
τ	= Konstanta empiris untuk persamaan NRTL dan UNIQUAC

Superscript

C	= <i>Combinatorial</i>
E	= Ekses
L	= Liquida
S	= <i>Saturated</i>
V	= Fase uap
R	= Residual
0	= Keadaan standar
-	= Properti parsial
^	= Properti dalam larutan

Subscript

i, j, k, l	= Komponen dalam campuran
e	= Kondisi kesetimbangan
m	= Pencampuran (mixing)

DAFTAR PUSTAKA

- Advance Motor Fuels, 2011. Fuel Butanol Properties. Tersedia di http://www.iea.amf.org/content/fuel_information/butanol/properties.
- Albar, A.H., Abdillah, R.W.” Keseimbangan Cair-Cair Sistem Terner DMC + Isobutanol + Air dan DMC + Tert-butanol + Air pada temperatur 303.15 K dan 315.15 K”,2015
- Arango, Isabel C., Aida L.Villa. “Isothermal vapor-liquid and vapor-liquid-liquid equilibrium for the ternary system ethanol + water + diethyl carbonate and constituent binary systems at different temperatures”, Fluid Phase Equilib, 2013,339, 31-39.
- Choi, C.H., Reitz, R.Y, An Experimental Study on The Effects of Oxygenated Fuel Blends and Multiple Injection Strategies on Diesel Engine Emission, J. Fuel,1999,78,1303-1217.
- Chunlan Peng, Kevin C, Lewis, Fred P.Stein, “Water Solubilities in Blends of Gasoline and Oxygenates”,1996, Fluid Phase Equilib, 116, 437-444.
- Hwang, I. C.; Park, S. J.; Han, K. J.; In, S. J. Liquid-Liquid Equilibria for Ternary Systems of Dimethyl Carbonate + C₁-C₄ Alcohols + Water at 298.15 K and Atmospheric Pressure. *J Ind Eng Chem*. 2012, 18, 499-503.
- Kadarohman A., Eksplorasi Minyak Atsiri sebagai Bioaditif Bahan Bakar, Program Study Kimia FMIPA, UPI Bandung, 2003.
- Li, D.; Fang, W.; Xing, Y.; Guo, Y.; Lin, R. Effects of Dimethyl or Diethyl Carbonate as an Additive on Volatility and Flash Point of an Aviation Fuel. *J Hazard Mater*. 2009, 161, 1193-1201.
- Poling, B.E., Prausnitz, J.M., O’Connell, J.P. The Properties of Gases and Liquids, 5th ed., New York: McGraw-Hill,2001.

- Reid, R.C., Prausnitz, J.M., Poling, B.E. The Properties of Gases and Liquids, 4th ed., New York: McGraw-Hill,1987.
- Song, J., Effect of Oxygenated Fuel on Combustion and Emissions in a Light-Duty Turbo Diesel Engine, The Pennsylvania State University, Pennsylvania : University Park,2001.
- Torre, J. D.; Cháfer, A.; Berna, A.; Muñoz, R. Liquid-Liquid Equilibria of the System Dimethyl Carbonate + Methanol + Water at Different Temperatures. *Fluid Phase Equilibr.* 2006, 247, 40-46.
- Yao Chen, Hui Wang, Changwei Wang, “Experimental Measurement and Correlations of Liquid-Liquid Equilibrium for Ternary and Quaternary Mixtures Formed by Dialkyl Carbonates at Temperature 298,15 K”*J.Chem.Eng.Data*,2011,929-935.
- Wen, L. B; Xin, C. Y.; Yang, S. C. The Effect of Adding Demthyl Carbonate (DMC) and Ethanol to Unleaded Gasoline on Exhaust Emission. *Appl Energ*, 2010, 87, 115-121.
- Zeng, J.; Chen, Y.; Zhou, X.; Wen, C. Ternary (Liquid+Liquid) Equilibria for (Water + 1-Propanol + Dimethyl Carbonate, or Diethyl Carbonate) Systems at several Temperatures. *J Chem Thermodyn.* 2013, 63, 116-122.

APENDIKS

1. Perhitungan Mol Masing-Masing Komponen Dalam Sampel

Diambil contoh perhitungan sampel LLE sistem terner DEC+ Isobutanol+ H₂O pada suhu 30°C.

Diketahui :

Densitas DEC : 0.9752 g/ml

Densitas Isobutanol : 0.802 g/ml

Densitas H₂O : 1 g/ml

BM DEC : 118.14 g/mol

BM Isobutanol : 74.112 g/mol

BM H₂O : 18 g/mol

Volume DEC : 18.8 mL

Volume Isobutanol : 3.4 mL

Volume H₂O : 7.8 mL

Perhitungan massa:

$$\begin{aligned}\text{Massa DEC} &= \rho \text{ DEC} \times \text{volume DEC} \\ &= 0.9752 \text{ gram/ml} \times 18.8 \text{ ml} \\ &= 18.3334 \text{ gram}\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama didapatkan massa Isobutanol dan massa H₂O yaitu:

$$\text{Massa Isobutanol} = 2.7268 \text{ gram}$$

$$\text{Massa air} = 7.8 \text{ gram}$$

Perhitungan mol komponen:

$$\begin{aligned}\text{Mol DEC (n}_1\text{)} &= \frac{\text{massa DEC}}{\text{BM DEC}} \\ &= \frac{18,3334}{118,14} \\ &= 0.1551 \text{ mol}\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama didapatkan mol Isobutanol (n₂) dan mol H₂O (n₃), yaitu:

$$n_2 = 0.0368 \text{ mol}$$

$$n_3 = 0.4333 \text{ mol}$$

Menghitung fraksi mol overall (z_i) untuk masing-masing komponen dalam sampel:

$$\begin{aligned}\text{Mol total } (n_{\text{total}}) &= n_1 + n_2 + n_3 \\ &= 0.1551 \text{ mol} + 0.0368 \text{ mol} + 0.4333 \text{ mol} \\ &= 0.6252 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$Z \text{ DEC } (z_1) = \frac{n_1}{n_{\text{total}}} = \frac{0.1551 \text{ mol}}{0.6252 \text{ mol}} = 0.2480$$

Dengan cara yang sama diperoleh z untuk masing-masing komponen dalam setiap sampel yang kemudian akan digunakan untuk menghitung kesetimbangan dengan model NRTL dan UNIQUAC.

2. Hasil analisa eksperimen dengan menggunakan Gas Chromatography (GC)

Sampel-sampel dari percobaan yang telah dilakukan selanjutnya dianalisa dengan menggunakan Gas Chromatography (GC) agar komposisi tiap-tiap komponen dapat diketahui. Berikut ini merupakan prosedur yang digunakan untuk memperoleh komposisi tiap sampel menggunakan Gas Chromatography (GC) :

a. Perhitungan Kurva Kalibrasi

Kurva Kalibrasi menggunakan metode kalibrasi single fraksi mol sebagai contoh digunakan perhitungan kalibrasi single DEC sebagai berikut:

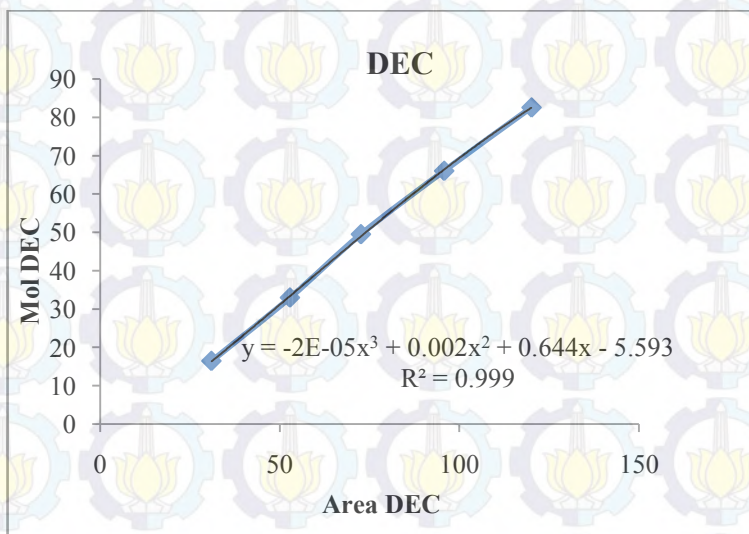
- Menginjeksikan Diethyl Carbonate dalam Gas Chromatography sebanyak 1 Ml

Vol. syringe(μL)	Mol(grmol)
0.2	0.000002
0.4	0.000003
0.6	0.000005
0.8	0.000007
1	0.000008

- Dari hasil analisa Gas Chromatography didapatkan area dan retention time

- Selanjutnya dengan prosedur yang sama menginjeksikan Isobutanol dan H₂O
- Membuat kurva kalibrasi untuk mendapatkan persamaan regresi untuk kalibrasi single DEC dengan memplot area terhadap fraksi mol dari data berikut :

Area	Mol
30.98934	16.50922634
52.83691	33.01845268
72.58212	49.52767902
95.74868	66.03690537
120.04546	82.54613171



Gambar Kurva Kalibrasi Single DEC

b. Perhitungan Komposisi Eksperimen

- Menginjeksikan sampel fase organik ke dalam Gas Chromatography sebanyak 1 μL
- Dari hasil analisa Gas Chromatography didapatkan area masing-masing komponen
- Mensubstitusi fraksi area masing-masing komponen ke persamaan regresi hasil dari kalibrasi untuk mendapatkan fraksi mol masing-masing komponen

Hasil Perhitungan Komposisi Sampel 3 Fase Organik DEC + Isobutanol + H_2O pada Temperatur 303.15 K

Komponen	Area	Mol	Fraksi Mol
DEC	80.13	56.28	0.55
Isobutanol	26.78	23.39	0.22
H_2O	12.22	25.16	0.23

3. Menghitung Parameter NRTL

Untuk mencari parameter NRTL kita tentukan terlebih dahulu nilai $\alpha = 0.2 - 0.47$. Setelah itu diambil nilai awal harga parameter yang akan ditrial, antara lain a_{ij} dan a_{ji} yang akan digunakan menghitung τ_{ij} dan τ_{ji} dengan persamaan sebagai berikut:

$$\tau_{ij} = \frac{a_{ij}}{RT} \quad (1)$$

$$\tau_{ji} = \frac{a_{ji}}{RT} \quad (2)$$

Setelah didapatkan τ_{ij} dan τ_{ji} , maka langkah selanjutnya adalah menghitung G_{ij} dan G_{ji} :

$$G_{ij} = \exp(-\alpha\tau_{ij}) \quad (3)$$

$$G_{ji} = \exp(-\alpha\tau_{ji}) \quad (4)$$

Dimana:

$$\tau_{ii} = 0$$

$$G_{ii} = 1$$

Kemudian parameter-parameter tersebut digunakan untuk menghitung γ_i :

$$\ln \gamma_i = \frac{\sum_j^N \tau_{ji} G_{ji} x_j}{\sum_k^N G_{ki} x_k} + \sum_j^N \frac{G_{ij} x_j}{\sum_k^N G_{kj} x_k} \left(\tau_{ij} - \frac{\sum_k^N x_k \tau_{kj} G_{kj}}{\sum_k^N G_{kj} x_k} \right) \quad (5)$$

Kemudian menghitung nilai objective function (F1) :

$$F1(\gamma_i^a, \gamma_i^b, X_i^a, X_i^b) = (\ln \gamma_i^a - \ln \gamma_i^b) - \ln \frac{X_i^b}{X_i^a} \quad (6)$$

Selanjutnya melakukan iterasi untuk meminimalkan nilai F1 dengan mengganti parameter a_{ij} dan a_{ji} . Kemudian menghitung nilai K_i :

$$\begin{aligned} \text{Neraca Massa Total} & : F_i = L^a + L^b \\ \text{Neraca Massa Komponen} & : F_i Z_i = L^a X_i^a + L^b X_i^b \\ & L^b = F_i - L^a \\ & F_i Z_i = L^a X_i^a + (F_i - L^a) X_i^b \end{aligned}$$

Dibagi dengan F_i akan menghasilkan persamaan :

$$Z_i = \frac{L^a}{F_i} X_i^a + \left(1 - \frac{L^a}{F_i}\right) X_i^b$$

$$\text{Dimana } \beta = \frac{L^a}{F_i} \text{ dan } K_i = \frac{X_i^a}{X_i^b} = \frac{\gamma_i^b}{\gamma_i^a}$$

Sehingga :

$$Z_i = \beta X_i^a + (1-\beta) X_i^b$$

Maka diperoleh perhitungan fraksi mol:

$$X_i^b = \frac{Z_i - \beta X_i^a}{1-\beta} \quad (7)$$

$$X_3^a = 1 - \sum_{i=1}^2 x_i^a \quad (8)$$

$$X_3^b = 1 - \sum_{i=1}^2 x_i^b \quad (9)$$

Kemudian menghitung nilai objective function (F2):

$$F2(x^a, x^b, \beta) = \sum_{i=1}^3 \frac{(K_i-1)z_i}{(K_i-1)\beta+1} \quad (10)$$

Dan juga harus memenuhi syarat :

$$\frac{x_i^a}{x_i^b} - \frac{\gamma_i^b}{\gamma_i^a} = 0 \quad (11)$$

Nilai β , x_1^a dan x_2^a pada persamaan di atas ditrial sehingga untuk mendapat nilai β , x_1^a dan x_2^a yang sesuai dilakukan *solver* dengan meminimalkan nilai *objective function* (F2).

4. Menghitung Parameter UNIQUAC

Untuk menghitung parameter UNIQUAC, yang akan dicari adalah u_{ij} dan u_{ji} dimana data ini kemudian digunakan untuk menghitung τ_{ij} dan τ_{ji} dengan persamaan sebagai berikut:

$$\tau_{ij} = \exp\left(\frac{u_{ij}}{RT}\right) \quad (12)$$

$$\tau_{ji} = \exp\left(\frac{u_{ji}}{RT}\right) \quad (13)$$

Kemudian dihitung nilai l_i , r_i , dan q_i dimana r_i adalah parameter volume komponen i dan q_i adalah parameter luasan komponen i .

$$l_i = \frac{z}{2}(r_i - q_i) - (r_i - 1) \quad (14)$$

$$\phi_i = \frac{x_i r_i}{\sum_j x_j r_j} \quad (15)$$

$$\theta_i = \frac{x_i q_i}{\sum_j x_j q_j} \quad (16)$$

Setelah didapatkan harga-harga parameter diatas, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai γ_i dengan persamaan:

$$\ln \gamma_i = \ln \frac{\phi_i}{x_i} + \frac{z}{2} q_i \ln \frac{\theta_i}{\phi_i} + l_i - \frac{\phi_i}{x_i} \sum_j^N x_j l_j - q_i \ln \left(\sum_j^N \theta_j \tau_{ji} \right) + q_i - q_i \sum_j^N \frac{\theta_j \tau_{ij}}{\sum_k^N \theta_k \tau_{kj}} \quad (17)$$

Dimana nilai $z=10$

Kemudian menghitung nilai F :

$$F1(\gamma_i^a, \gamma_i^b, X_i^a, X_i^b) = (\ln \gamma_i^a - \ln \gamma_i^b) - \ln \frac{X_i^b}{X_i^a} \quad (18)$$

Selanjutnya adalah meminimalkan nilai F untuk mendapatkan parameter yang sesuai. Kemudian menghitung nilai K_i :

Neraca Massa Total : $F_i = L^a + L^b$

Neraca Massa Komponen : $F_i Z_i = L^a X_i^a + L^b X_i^b$

$$L^b = F_i - L^a$$

$$F_i Z_i = L^a X_i^a + (F_i - L^a) X_i^b$$

Dibagi dengan F_i akan menghasilkan persamaan :

$$Z_i = \frac{L^a}{F_i} X_i^a + \left(1 - \frac{L^a}{F_i}\right) X_i^b$$

$$\text{Dimana } \beta = \frac{L^a}{F_i} \text{ dan } K_i = \frac{X_i^a}{X_i^b} = \frac{\gamma_i^b}{\gamma_i^a}$$

Sehingga :

$$Z_i = \beta X_i^a + (1-\beta)X_i^b$$

Maka diperoleh perhitungan fraksi mol:

$$X_1^b = \frac{Z_i - \beta X_i^a}{1-\beta} \quad (19)$$

$$X_3^a = 1 - \sum_{i=1}^2 x_i^a \quad (20)$$

$$X_3^b = 1 - \sum_{i=1}^2 x_i^b \quad (21)$$

Kemudian menghitung nilai objective function (F2):

$$F2(x^a, x^b, \beta) = \sum_{i=1}^3 \frac{(K_i-1)z_i}{(K_i-1)\beta+1} \quad (22)$$

Dan juga harus memenuhi syarat :

$$\frac{x_i^a}{x_i^b} - \frac{\gamma_i^b}{\gamma_i^a} = 0 \quad (23)$$

Nilai β , x_1^a dan x_2^a pada persamaan di atas ditrial sehingga untuk mendapat nilai β , x_1^a dan x_2^a yang sesuai dilakukan *solver* dengan meminimalkan nilai *objective function* (F2).

5. Perhitungan Deviasi Hasil Percobaan dengan Hasil Perhitungan

Setelah mendapatkan komposisi kesetimbangan masing-masing komponen, langkah selanjutnya yaitu mengevaluasi hasil *fitting* parameter dengan menggunakan perhitungan deviasi, dalam hal ini adalah *root mean square deviations* (RMSD). Persamaannya sebagai berikut:

$$OF = \sum_{n=1}^N [x_{ijk} - x_{ijk}^{cal}]^2 \quad (24)$$

Dimana n adalah jumlah tie line; i, j, dan k adalah komponen, fase, dan tie line. Setelah itu menghitung nilai RMSD dengan persamaan,

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N [x_{ijk} - x_{ijk}^{cal}]^2}{6n}} \quad (25)$$

6. Contoh Perhitungan

a. Perhitungan Menggunakan Persamaan NRTL

Berikut adalah contoh perhitungan prediksi kesetimbangan dengan model NRTL untuk sampel DEC + Isobutanol + H₂O pada suhu 303.15 K. Diketahui dari data eksperimen:

Fase Aqueous			Fase Organik		
X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
0.0224	0	0.9776	0.9569	0	0.0431
0.0328	0.0327	0.9345	0.7482	0.1319	0.1199
0.0400	0.0386	0.9215	0.5456	0.2190	0.2355
0.0296	0.0470	0.9234	0.4012	0.2799	0.3189
0.0204	0.0576	0.9219	0.2608	0.2912	0.4481
0.0179	0.0663	0.9159	0.1214	0.2910	0.5876
0.0193	0.0977	0.8831	0.0542	0.2515	0.6944
0	0.1105	0.8895	0	0.2344	0.7656

ditetapkan harga $\alpha = 0,2$; $T = 303.15$ K.

Langkah pertama yaitu trial harga a_{ij} dan a_{ji} (750) sehingga didapatkan nilai τ_{ij} dan τ_{ji} dengan persamaan (1) dan (2) sehingga diperoleh :

Komponen	τ_{ij}	τ_{ji}
1-2	-1450.27	1497.56
1-3	1078.46	879.49
2-3	2440.13	-133.22

Langkah selanjutnya adalah menghitung G_{ij} dan G_{ji} dengan persamaan (3) dan (4) sehingga diperoleh :

Komponen	G_{ij}	G_{ji}
1-2	1.6186	0.6082
1-3	0.4448	1.0452
2-3	0.6990	0.7467

Setelah didapatkan harga parameter di atas, kemudian menghitung $\ln \gamma_i$ dengan menggunakan persamaan (5) sehingga diperoleh :

Fase Aqueous			Fase Organik		
$\ln \gamma_1^a$	$\ln \gamma_2^a$	$\ln \gamma_3^a$	$\ln \gamma_1^b$	$\ln \gamma_2^b$	$\ln \gamma_3^b$
3.9373	3.0374	0.0004	0.0354	1.4910	3.1478
3.7211	2.7290	0.0125	0.3059	1.1013	2.1399
3.6661	2.6352	0.0177	0.8273	0.8482	1.3985
3.6539	2.6634	0.0179	1.2195	0.7647	1.0987
3.6248	2.6677	0.0189	1.7514	0.8459	0.7442
3.5861	2.6323	0.0216	2.2375	1.1091	0.4555
3.4166	2.4270	0.0405	2.5926	1.4652	0.2595
3.4021	2.4855	0.0322	2.7955	1.7806	0.1419

Selanjutnya meminimalkan nilai F1 dengan persamaan (6) sehingga didapatkan parameter interaksi a_{ij} dan a_{ji} yang sesuai yaitu :

Komponen	a_{ij}	a_{ji}
1-2	-1450.27	1497.56
1-3	1078.46	879.49
2-3	2440.13	-133.22

Kemudian menghitung K_i

$$K_i = \frac{\gamma_i^b}{\gamma_i^a}$$

$$K_1 = 0.0202$$

Dengan cara yang sama didapatkan:

$$K_2 = 0.2130$$

$$K_3 = 23.277$$

Dari data awal diketahui:

$$z_1 = 0.2972$$

$$z_2 = 0$$

$$z_3 = 0.7028$$

Melakukan trial nilai β , x_1^a dan x_2^a dengan nilai awal 0.5, 0.08, dan 0.007. Kemudian menghitung komposisi kesetimbangan dengan perhitungan pada persamaan (7), (8) dan (9). Setelah dilakukan solver untuk mendapatkan nilai minimal F2 dan memenuhi syarat persamaan (11) dengan mengganti β , x_1^a dan x_2^a dan didapatkan komposisi kesetimbangan yaitu :

$$\begin{aligned} x_1^a &= 0.0298 \\ x_2^a &= 0 \\ x_3^a &= 0.9702 \\ x_1^b &= 0.5826 \\ x_2^b &= 0 \\ x_3^b &= 0.4174 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Deviasi Hasil Percobaan dengan Hasil Perhitungan

Untuk menghitung nilai *objective function* (OF) dengan memasukkan data eksperimen:

$$\begin{aligned} x_1^a &= 0.0224 \\ x_2^a &= 0 \\ x_3^a &= 0.9776 \\ x_1^b &= 0.9569 \\ x_2^b &= 0 \\ x_3^b &= 0.0431 \end{aligned}$$

Dan data hasil perhitungan :

$$\begin{aligned} x_1^a &= 0.0224 \\ x_2^a &= 0 \\ x_3^a &= 0.9776 \\ x_1^b &= 0.9562 \\ x_2^b &= 0 \\ x_3^b &= 0.0438 \end{aligned}$$

Menggunakan persamaan :

$$OF = \sum_{n=1}^N [x_{ijk} - x_{ijk}^{cal}]^2$$

Setelah mendapatkan parameter, langkah selanjutnya yaitu menghitung RMSD dengan menggunakan persamaan:

$$\text{RMSD} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N [x_{ijk} - x_{ijk}^{\text{cal}}]^2}{6n}}$$

Sehingga didapatkan harga RMSD sebesar 0.8 %.

c. Perhitungan Menggunakan Persamaan UNIQUAC

Berikut adalah contoh perhitungan prediksi kesetimbangan dengan model NRTL untuk sampel DEC + Isobutanol + H₂O pada suhu 303.15 K. Diketahui dari data eksperimen:

Fase Aqueous			Fase Organik		
X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
0.0224	0	0.9776	0.9569	0	0.0431
0.0328	0.0327	0.9345	0.7482	0.1319	0.1199
0.0400	0.0386	0.9215	0.5456	0.2190	0.2355
0.0296	0.0470	0.9234	0.4012	0.2799	0.3189
0.0204	0.0576	0.9219	0.2608	0.2912	0.4481
0.0179	0.0663	0.9159	0.1214	0.2910	0.5876
0.0193	0.0977	0.8831	0.0542	0.2515	0.6944
0	0.1105	0.8895	0	0.2344	0.7656

Ditetapkan harga R=8.314 j/mol.K; T=303.15 K

Langkah pertama yaitu trial harga u_{ij} dan u_{ji} sehingga didapatkan nilai τ_{ij} dan τ_{ji} dengan persamaan (12) dan (13) sehingga diperoleh :

Komponen	τ _{ij}	τ _{ji}
1-2	0.8057	0.6822
1-3	0.2356	0.6407
2-3	1.1158	0.6945

Diketahui data parameter luasan dan volume:

Chemicals	UNIQUAC	
	r	Q
DEC	4.39684	3.896
Isobutanol	3.45353	3.048
Tert-butanol	3.7013	3.492
H ₂ O	0.92	1.4

Kemudian dihitung nilai l_i , φ_i , dan θ_i menggunakan persamaan (14), (15), dan (16)

Fase Aqueous			Fase Organik		
φ_1^a	φ_2^a	φ_3^a	φ_1^b	φ_2^b	φ_3^b
0.0988	0.0000	0.9012	0.9907	0.0000	0.0093
0.1292	0.1010	0.7698	0.8533	0.1181	0.0286
0.1520	0.1151	0.7329	0.7115	0.2243	0.0643
0.1141	0.1420	0.7439	0.5833	0.3197	0.0970
0.0790	0.1751	0.7460	0.4471	0.3921	0.1608
0.0684	0.1990	0.7327	0.2568	0.4832	0.2600
0.0686	0.2732	0.6582	0.1365	0.4975	0.3660
0.0000	0.3181	0.6819	0.0000	0.5347	0.4653

Langkah selanjutnya adalah menghitung $\ln \gamma_i$ untuk fase atas dan bawah dengan menggunakan persamaan (17) didapatkan:

Fase Aqueous			Fase Organik		
$\ln \gamma_1^a$	$\ln \gamma_2^a$	$\ln \gamma_3^a$	$\ln \gamma_1^b$	$\ln \gamma_2^b$	$\ln \gamma_3^b$
3.6466	1.3960	0.0595	-0.0984	0.7208	3.0328
3.0873	2.3298	0.0536	-0.0321	0.7700	2.2190
2.8894	2.1771	0.0724	0.1443	0.5214	1.5789
3.0599	2.2242	0.0310	0.4247	0.3987	1.1428
3.1947	2.2359	-0.0084	0.8086	0.3953	0.7347
3.1938	2.1831	-0.0233	1.5261	0.5603	0.2979
2.9816	1.8884	-0.0361	2.1155	0.8623	0.0690
0.0000	1.9945	-0.1111	0.0000	1.2117	-0.1287

Selanjutnya meminimalkan nilai F1 dengan persamaan (18) sehingga didapatkan parameter interaksi u_{ij} dan u_{ji} yang sesuai yaitu :

Komponen	u_{ij}	u_{ji}
1-2	65.50	115.90
1-3	438.26	134.97
2-3	-33.24	110.50

Kemudian menghitung K_1

$$K_i = \frac{\gamma_i^b}{\gamma_i^a}$$

$$K_1 = 0.0236$$

Dengan cara yang sama didapatkan:

$$K_2 = 0.5901$$

$$K_3 = 19.5554$$

Dari data awal diketahui:

$$z_1 = 0.2972$$

$$z_2 = 0$$

$$z_3 = 0.7028$$

Trial nilai β , x_1^a dan x_2^a dengan nilai 0.5, 0.09 dan 0. Kemudian menghitung komposisi kesetimbangan dengan perhitungan persamaan (19), (20) dan (21). Setelah dilakukan solver untuk mendapatkan nilai minimal F2 dan memenuhi syarat persamaan (23) dengan mengganti β , x_1^a dan x_2^a dan didapatkan komposisi kesetimbangan yaitu :

$$\begin{aligned}x_1^a &= 0.09 \\x_2^a &= 0 \\x_3^a &= 0.91 \\x_1^b &= 0.5807 \\x_2^b &= 0 \\x_3^b &= 0.4193\end{aligned}$$

d. Perhitungan Deviasi Hasil Percobaan dengan Hasil Perhitungan

Untuk menghitung nilai objection function (OF) dengan memasukkan data eksperimen:

$$\begin{aligned}x_1^a &= 0.0224 \\x_2^a &= 0 \\x_3^a &= 0.9776 \\x_1^b &= 0.9569 \\x_2^b &= 0 \\x_3^b &= 0.04314\end{aligned}$$

Dan data hasil perhitungan

$$\begin{aligned}x_1^a &= 0.0224 \\x_2^a &= 0 \\x_3^a &= 0.9775 \\x_1^b &= 0.9562 \\x_2^b &= 0 \\x_3^b &= 0.0438\end{aligned}$$

Menggunakan persamaan

$$OF = \sum_{n=1}^N [x_{ijk} - x_{ijk}^{cal}]^2$$

Setelah mendapatkan parameter, langkah selanjutnya yaitu menghitung RMSD dengan menggunakan persamaan:

$$\text{RMSD} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N [x_{ijk} - x_{ijk}^{\text{cal}}]^2}{6n}}$$

Sehingga didapatkan harga RMSD sebesar 0.8 %.

Data Z Awal Eksperimen

Sistem DEC + Isobutanol + H₂O pada suhu 30 °C

z ₁	z ₂	z ₃
0.297205	0	0.702795
0.248174	0.058841	0.692985
0.210106	0.100318	0.689576
0.062303	0.06635	0.871347
0.156452	0.184873	0.658675
0.130056	0.200591	0.669353
0.029756	0.109649	0.860595
0	0.2	0.8

Sistem DEC + Isobutanol + H₂O pada suhu 40 °C

z ₁	z ₂	z ₃
0.297205	0	0.702795
0.248174	0.058841	0.692985
0.210106	0.100318	0.689576
0.179441	0.158573	0.661987
0.130056	0.200591	0.669353
0.079585	0.238707	0.681708
0.029756	0.109649	0.860595
0	0.2	0.8

Sistem DEC + Tert-butanol + H₂O pada suhu 30 °C

z_1	z_2	z_3
0.15	0	0.85
0.15	0.06	0.79
0.15	0.08	0.77
0.15	0.1	0.75
0.15	0.11	0.74
0.15	0.12	0.73
0.15	0.13	0.72
0.15	0.15	0.7

Sistem DEC + Tert-butanol + H₂O pada suhu 40 °C

z_1	z_2	z_3
0.15	0	0.85
0.15	0.06	0.79
0.15	0.08	0.77
0.15	0.1	0.75
0.15	0.11	0.74
0.15	0.12	0.73
0.15	0.13	0.72

LAMPIRAN

1. RMSD NRTL sistem DEC (1) + Isobutanol (2) + H₂O (3) pada temperatur 303.15 K

Sampel	Fase	Eksperimen (X_i^{exp})			Perhitungan (X_i^{cal})			$(X_i^{\text{exp}} - X_i^{\text{cal}})^2$		
		X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	DEC	ISO	H ₂ O
1	Aqueous	0.02243	0.00000	0.97757	0.02243	0.00000	0.97757	2.5E-12	0	2.5E-12
	Organik	0.95686	0.00000	0.04314	0.95616	0.00000	0.04384	4.9E-07	0	4.9E-07
2	Aqueous	0.03282	0.03267	0.93451	0.03282	0.03267	0.93451	4.0E-17	9.7E-14	1.0E-13
	Organik	0.74824	0.13185	0.11992	0.74742	0.13223	0.12035	6.7E-07	1.5E-07	1.8E-07
3	Aqueous	0.03998	0.03855	0.92147	0.03998	0.03855	0.92147	3.6E-13	5.3E-13	1.6E-14
	Organik	0.54555	0.21896	0.23549	0.54481	0.21963	0.23556	5.4E-07	4.5E-07	4.2E-09
4	Aqueous	0.02963	0.04695	0.92342	0.02963	0.04695	0.92342	5.7E-16	3.9E-16	1.7E-17
	Organik	0.40116	0.27991	0.31893	0.40116	0.27991	0.31893	5.9E-18	1.8E-18	1.2E-18
5	Aqueous	0.02042	0.05764	0.92194	0.02042	0.05764	0.92194	5.9E-17	5.9E-17	2.4E-16
	Organik	0.26077	0.29115	0.44808	0.26077	0.29115	0.44808	2.4E-17	1.1E-17	2.5E-18
6	Aqueous	0.01788	0.06626	0.91586	0.01788	0.06626	0.91586	2.5E-17	2.8E-17	9.5E-20
	Organik	0.12142	0.29095	0.58763	0.16332	0.25556	0.58112	1.8E-03	1.3E-03	4.2E-05
7	Aqueous	0.01925	0.09765	0.88310	0.01925	0.09765	0.88310	1.9E-15	1.6E-15	8.1E-18
	Organik	0.05417	0.25145	0.69438	0.06026	0.24758	0.69216	3.7E-05	1.5E-05	4.9E-06
8	Aqueous	0.00000	0.11052	0.88948	0.00000	0.11052	0.88948	0.0E+00	1.8E-15	1.8E-15
	Organik	0.00000	0.23436	0.76564	0.00000	0.23507	0.76493	0.0E+00	5.0E-07	5.0E-07

OF

0.0031

RMSD(%)

0.86

2. RMSD NRTL sistem DEC (1) + Isobutanol(2) + H₂O (3) pada temperatur 313.15 K

Sampel	Fase	Eksperimen (X_i^{exp})			Perhitungan (X_i^{cal})			$(X_i^{\text{exp}} - X_i^{\text{cal}})^2$		
		X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	DEC	ISO	H ₂ O
1	Aqueous	0.0221	0.0000	0.9779	0.0220	0.0000	0.9780	9.6E-09	0.0E+00	9.6E-09
	Organik	0.9567	0.0000	0.0433	0.9560	0.0000	0.0440	4.9E-07	0.0E+00	4.9E-07
2	Aqueous	0.0273	0.0196	0.9531	0.0273	0.0196	0.9531	1.4E-11	9.2E-12	1.1E-11
	Organik	0.7287	0.1156	0.1558	0.7172	0.1350	0.1478	1.3E-04	3.8E-04	6.3E-05
3	Aqueous	0.0268	0.0212	0.9520	0.0268	0.0212	0.9520	1.1E-17	3.8E-17	8.9E-17
	Organik	0.5462	0.2118	0.2420	0.5364	0.2255	0.2381	9.6E-05	1.9E-04	1.5E-05
4	Aqueous	0.0236	0.0326	0.9439	0.0236	0.0326	0.9438	6.6E-17	1.2E-16	3.6E-16
	Organik	0.4495	0.2511	0.2994	0.4495	0.2511	0.2994	1.1E-11	1.1E-11	1.1E-11
5	Aqueous	0.0270	0.0420	0.9311	0.0270	0.0420	0.9311	5.0E-17	6.4E-18	9.2E-17
	Organik	0.2500	0.2744	0.4756	0.2500	0.2744	0.4756	1.6E-16	6.3E-17	2.3E-17
6	Aqueous	0.0361	0.0600	0.9039	0.0361	0.0600	0.9039	4.5E-18	7.3E-16	6.2E-16
	Organik	0.1502	0.2627	0.5871	0.1502	0.2627	0.5871	2.2E-18	7.1E-19	4.3E-19
7	Aqueous	0.0315	0.0773	0.8913	0.0315	0.0772	0.8913	1.1E-17	1.1E-15	8.7E-16
	Organik	0.0419	0.2335	0.7246	0.0569	0.2238	0.7193	2.2E-04	9.5E-05	2.7E-05
8	Aqueous	0.0000	0.0966	0.9034	0.0000	0.0966	0.9034	0.0E+00	1.1E-14	1.1E-14
	Organik	0.0000	0.2231	0.7769	0.0000	0.2238	0.7762	0.0E+00	5.0E-07	5.0E-07

OF

0.0012

RMSD(%)

0.58

3. RMSD NRTL sistem DEC (1) + Tert-Butanol(2) + H₂O (3) pada temperatur 303.15 K

Sampel	Fase	Eksperimen (X_i^{exp})			Perhitungan (X_i^{cal})			$(X_i^{\text{exp}} - X_i^{\text{cal}})^2$		
		X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	DEC	ISO	H ₂ O
1	Aqueous	0.0001	0.0000	0.9999	0.0001	0.0000	0.9999	5.2E-13	0.0E+00	5.2E-13
	Organik	0.7074	0.0000	0.2926	0.7074	0.0000	0.2926	0.0E+00	1.0E+00	0.0E+00
2	Aqueous	0.0001	0.0527	0.9472	0.0001	0.0527	0.9472	0.0E+00	2.0E+00	0.0E+00
	Organik	0.5925	0.0915	0.3160	0.5907	0.0949	0.3144	3.2E-06	3.0E+00	2.6E-06
3	Aqueous	0.0001	0.0662	0.9337	0.0001	0.0662	0.9337	1.4E-12	4.0E+00	3.3E-11
	Organik	0.4985	0.1488	0.3527	0.5110	0.1259	0.3631	1.5E-04	5.0E+00	1.1E-04
4	Aqueous	0.0001	0.0829	0.9170	0.0001	0.0829	0.9170	3.2E-20	6.0E+00	4.7E-15
	Organik	0.4439	0.1544	0.4018	0.4501	0.1429	0.4069	3.9E-05	7.0E+00	2.6E-05
5	Aqueous	0.0001	0.0992	0.9007	0.0001	0.0992	0.9007	2.5E-15	8.0E+00	9.8E-15
	Organik	0.4312	0.1585	0.4103	0.4358	0.1501	0.4141	2.1E-05	9.0E+00	1.4E-05
6	Aqueous	0.0001	0.1114	0.8885	0.0001	0.1114	0.8885	1.1E-14	1.0E+01	9.7E-15
	Organik	0.3754	0.1626	0.4619	0.3812	0.1521	0.4667	3.4E-05	1.1E+01	2.3E-05
7	Aqueous	0.3551	0.1714	0.4735	0.0001	0.1144	0.8855	1.3E-01	1.2E+01	1.7E-01
	Organik	0.1690	0.1745	0.6566	0.3599	0.1628	0.4773	3.6E-02	1.3E+01	3.2E-02
8	Aqueous	0.0001	0.1233	0.8766	0.0001	0.1233	0.8766	4.5E-17	1.4E+01	3.2E-16
	Organik	0.2739	0.1784	0.5477	0.2771	0.1730	0.5500	1.0E-05	1.5E+01	5.3E-06

OF

RMSD(%)

0.0014

0.58

4. RMSD NRTL sistem DEC (1) + Tert-Butanol (2) + H₂O (3) pada temperatur 313.15 K

Sampel	Fase	Eksperimen (X_i^{exp})			Perhitungan (X_i^{cal})			$(X_i^{\text{exp}} - X_i^{\text{cal}})^2$		
		X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	DEC	ISO	H ₂ O
1	Aqueous	0.0001	0.0000	0.9999	0.0001	0.0000	0.9999	5.5E-13	0.0E+00	5.5E-13
	Organik	0.7121	0.0000	0.2879	0.7114	0.0000	0.2886	5.0E-07	0.0E+00	5.0E-07
2	Aqueous	0.0001	0.0490	0.9509	0.0001	0.0490	0.9509	6.3E-16	6.3E-16	2.5E-15
	Organik	0.5954	0.0855	0.3190	0.5860	0.1033	0.3107	8.9E-05	3.2E-04	6.9E-05
3	Aqueous	0.0001	0.0661	0.9338	0.0001	0.0661	0.9338	7.6E-16	7.6E-16	3.1E-15
	Organik	0.4887	0.1371	0.3742	0.4887	0.1371	0.3742	6.6E-16	1.7E-16	1.6E-16
4	Aqueous	0.0001	0.0745	0.9254	0.0001	0.0745	0.9254	1.8E-16	1.8E-16	7.2E-16
	Organik	0.4521	0.1630	0.3849	0.4521	0.1630	0.3849	1.1E-11	1.1E-11	1.1E-11
5	Aqueous	0.0001	0.0852	0.9147	0.0001	0.0852	0.9147	2.6E-16	2.6E-16	1.0E-15
	Organik	0.4350	0.1736	0.3914	0.4350	0.1736	0.3914	1.1E-11	1.1E-11	1.1E-11
6	Aqueous	0.0001	0.1341	0.8658	0.0001	0.1341	0.8658	1.2E-14	1.9E-14	6.1E-14
	Organik	0.4037	0.1784	0.4179	0.4037	0.1784	0.4179	1.2E-15	2.0E-16	4.2E-16
7	Aqueous	0.0001	0.1479	0.8520	0.0001	0.1479	0.8520	6.7E-14	1.6E-13	2.0E-14
	Organik	0.1690	0.1745	0.6566	0.1690	0.1745	0.6566	1.1E-11	1.1E-11	1.1E-11
OF								0.00091		
RMSD(%)								0.5		

5. RMSD UNIQUAC sistem DEC (1) + Isobutanol (2) + H₂O (3) pada temperatur 303.15 K

Sampel	Fase	Eksperimen (X_i^{exp})			Perhitungan (X_i^{cal})			$(X_i^{exp} - X_i^{cal})^2$		
		X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	DEC	ISO	H ₂ O
1	Aqueous	0.0224	0.0000	0.9776	0.0224	0.0000	0.9776	1.1E-12	0.0E+00	1.1E-12
	Organik	0.9569	0.0000	0.0431	0.9562	0.0000	0.0438	5.0E-07	0.0E+00	5.0E-07
2	Aqueous	0.0328	0.0327	0.9345	0.0327	0.0333	0.9340	1.4E-08	3.5E-07	2.2E-07
	Organik	0.7482	0.1319	0.1199	0.7482	0.1314	0.1204	2.1E-09	1.9E-07	2.2E-07
3	Aqueous	0.0400	0.0386	0.9215	0.0400	0.0385	0.9215	1.6E-14	1.2E-14	5.5E-14
	Organik	0.5456	0.2190	0.2355	0.5483	0.2149	0.2368	7.5E-06	1.6E-05	1.6E-06
4	Aqueous	0.0296	0.0470	0.9234	0.0295	0.0471	0.9234	1.4E-08	2.3E-08	9.6E-10
	Organik	0.4012	0.2799	0.3189	0.4012	0.2799	0.3189	8.1E-17	2.1E-17	2.0E-17
5	Aqueous	0.0204	0.0576	0.9219	0.0204	0.0576	0.9219	1.0E-14	2.4E-16	7.3E-15
	Organik	0.2608	0.2912	0.4481	0.2608	0.2912	0.4481	2.3E-17	1.0E-17	2.7E-18
6	Aqueous	0.0179	0.0663	0.9159	0.0179	0.0663	0.9159	1.3E-15	1.5E-15	5.5E-15
	Organik	0.1214	0.2910	0.5876	0.1647	0.2533	0.5821	1.9E-03	1.4E-03	3.1E-05
7	Aqueous	0.0193	0.0977	0.8831	0.0192	0.0976	0.8831	3.0E-16	2.5E-15	4.5E-15
	Organik	0.0542	0.2515	0.6944	0.0599	0.2478	0.6923	3.3E-05	1.3E-05	4.5E-06
8	Aqueous	0.0000	0.1105	0.8895	0.0000	0.1105	0.8895	0.0E+00	4.3E-15	4.3E-15
	Organik	0.0000	0.2344	0.7656	0.0000	0.2351	0.7649	0.0E+00	5.0E-07	5.0E-07

OF

0.0034

RMSD(%)

0.84

6. RMSD UNIQUAC sistem DMC(1) + Isobutanol(2) + H₂O (3) pada temperatur 313.15 K

Sampel	Fase	Eksperimen (X_i^{exp})			Perhitungan (X_i^{cal})			$(X_i^{exp}-X_i^{cal})^2$		
		X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	DEC	ISO	H ₂ O
1	Aqueous	0.0221	0.0000	0.9779	0.0221	0.0000	0.9779	4.7E-12	0.0E+00	4.7E-12
	Organik	0.9567	0.0000	0.0433	0.9560	0.0000	0.0440	5.0E-07	0.0E+00	5.0E-07
2	Aqueous	0.0273	0.0196	0.9531	0.0273	0.0196	0.9531	1.2E-11	1.0E-11	1.1E-11
	Organik	0.7287	0.1156	0.1558	0.7172	0.1349	0.1478	1.3E-04	3.8E-04	6.3E-05
3	Aqueous	0.0268	0.0212	0.9520	0.0268	0.0212	0.9520	7.3E-15	2.7E-14	6.3E-14
	Organik	0.5462	0.2118	0.2420	0.5382	0.2231	0.2387	6.4E-05	1.3E-04	1.1E-05
4	Aqueous	0.0236	0.0326	0.9439	0.0236	0.0326	0.9439	6.4E-15	6.6E-15	2.6E-14
	Organik	0.4495	0.2511	0.2994	0.4495	0.2511	0.2994	1.1E-11	1.1E-11	1.1E-11
5	Aqueous	0.0270	0.0420	0.9311	0.0270	0.0420	0.9311	1.9E-15	2.0E-15	7.8E-15
	Organik	0.2500	0.2744	0.4756	0.2500	0.2744	0.4756	1.7E-16	6.3E-17	2.6E-17
6	Aqueous	0.0361	0.0600	0.9039	0.0361	0.0600	0.9039	1.2E-15	9.5E-16	4.3E-15
	Organik	0.1502	0.2627	0.5871	0.1502	0.2627	0.5871	3.1E-18	9.7E-19	5.9E-19
7	Aqueous	0.0315	0.0773	0.8913	0.0315	0.0772	0.8913	6.2E-15	1.8E-16	8.5E-15
	Organik	0.0419	0.2335	0.7246	0.0419	0.2335	0.7246	1.6E-17	6.2E-19	1.1E-17
8	Aqueous	0.0000	0.0966	0.9034	0.0000	0.0966	0.9034	0.0E+00	1.9E-14	1.9E-14
	Organik	0.0000	0.2231	0.7769	0.0000	0.2231	0.7769	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
OF RMSD(%)								0.00077 0.4		

7. RMSD UNIQUAC sistem DEC(1) + Tert-Butanol(2) + H₂O (3) pada temperatur 303.15 K

Sampel	Fase	Eksperimen (X_i^{exp})			Perhitungan (X_i^{cal})			$(X_i^{\text{exp}} - X_i^{\text{cal}})^2$		
		X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	DEC	TERT	H ₂ O
1	Aqueous	0.0001	0.0000	0.9999	0.0001	0.0000	0.9999	3.471E-12	0	3.471E-12
	Organik	0.7074	0.0000	0.2926	0.7067	0.0000	0.2933	4.999E-07	0	4.999E-07
2	Aqueous	0.0001	0.0527	0.9472	0.0001	0.0527	0.9472	6.7E-17	6.7E-17	2.68E-16
	Organik	0.5925	0.0915	0.3160	0.6096	0.0571	0.3332	0.0002953	0.00118	0.0002953
3	Aqueous	0.0001	0.0662	0.9337	0.0001	0.0662	0.9337	1.839E-16	1.8E-16	7.355E-16
	Organik	0.4985	0.1488	0.3527	0.4985	0.1488	0.3527	1.208E-15	1.9E-16	4.364E-16
4	Aqueous	0.0001	0.0829	0.9170	0.0001	0.0829	0.9170	1.413E-15	1.4E-15	5.654E-15
	Organik	0.4439	0.1544	0.4018	0.4439	0.1544	0.4018	1.293E-15	2.2E-16	4.435E-16
5	Aqueous	0.0001	0.0992	0.9007	0.0001	0.0992	0.9007	5.009E-16	5E-16	2.004E-15
	Organik	0.4312	0.1585	0.4103	0.4312	0.1585	0.4103	2.142E-15	2.9E-16	8.514E-16
6	Aqueous	0.0001	0.1114	0.8885	0.0001	0.1114	0.8885	3.404E-15	4.9E-15	1.641E-14
	Organik	0.3754	0.1626	0.4619	0.3754	0.1626	0.4619	1.095E-15	2E-16	3.551E-16
7	Aqueous	0.0001	0.1199	0.8800	0.0001	0.1199	0.8800	2.463E-16	1.8E-17	1.312E-16
	Organik	0.3551	0.1714	0.4735	0.3551	0.1713	0.4735	1.137E-11	1.1E-11	1.096E-11
8	Aqueous	0.0001	0.1233	0.8766	0.0001	0.1233	0.8766	7.144E-17	3E-17	9.081E-18
	Organik	0.2739	0.1784	0.5477	0.2739	0.1784	0.5477	3.551E-17	3.6E-17	6.302E-21

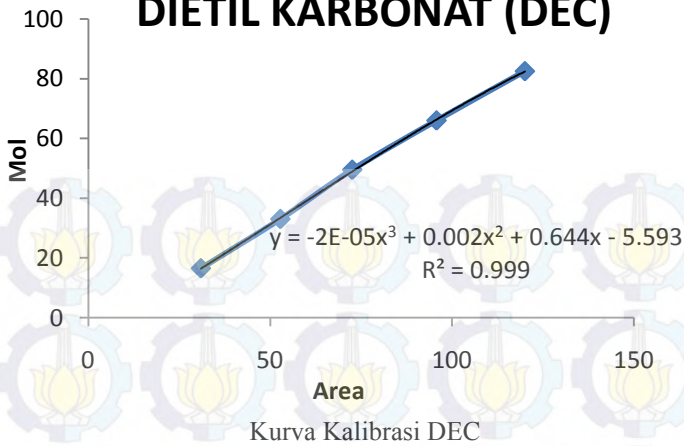
OF 0.0018
RMSD(%) 0.61

8. RMSD UNIQUAC sistem DEC (1) + Tert-Butanol(2) + H₂O (3) pada temperatur 313.15 K

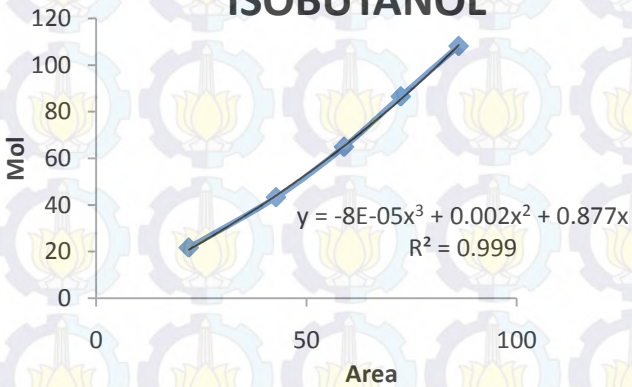
Sampel	Fase	Eksperimen (X_i^{exp})			Perhitungan (X_i^{cal})			$(X_i^{\text{exp}} - X_i^{\text{cal}})^2$		
		X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	DEC	TERT	H ₂ O
1	Aqueous	0.0001	0.0000	0.9999	0.0001	0.0000	0.9999	5.516E-13	0	5.516E-13
	Organik	0.7121	0.0000	0.2879	0.7114	0.0000	0.2886	4.991E-07	0	4.991E-07
2	Aqueous	0.0001	0.0490	0.9509	0.0001	0.0490	0.9509	8.638E-16	9E-16	3.455E-15
	Organik	0.5954	0.0855	0.3190	0.5859	0.1035	0.3106	9.138E-05	0.0003	7.053E-05
3	Aqueous	0.0001	0.0661	0.9338	0.0001	0.0661	0.9338	2.62E-16	3E-16	1.048E-15
	Organik	0.4887	0.1371	0.3742	0.4799	0.1520	0.3681	7.791E-05	0.0002	3.723E-05
4	Aqueous	0.0001	0.0745	0.9254	0.0001	0.0745	0.9254	2.267E-16	2E-16	9.069E-16
	Organik	0.4521	0.1630	0.3849	0.4521	0.1630	0.3849	1.096E-11	1E-11	1.118E-11
5	Aqueous	0.0001	0.0852	0.9147	0.0001	0.0852	0.9147	2.989E-17	3E-17	1.196E-16
	Organik	0.4350	0.1736	0.3914	0.4350	0.1736	0.3914	1.091E-11	1E-11	1.121E-11
6	Aqueous	0.0001	0.1341	0.8658	0.0001	0.1341	0.8658	1.044E-14	2E-14	5.651E-14
	Organik	0.4037	0.1784	0.4179	0.4037	0.1784	0.4179	1.213E-15	2E-16	4.257E-16
7	Aqueous	0.0001	0.1479	0.8520	0.0001	0.1479	0.8520	2.491E-17	7E-16	4.288E-16
	Organik	0.1690	0.1745	0.6566	0.1690	0.1745	0.6566	1.115E-11	1E-11	1.116E-11

OF 0.0008
RMSD(%) 0.44

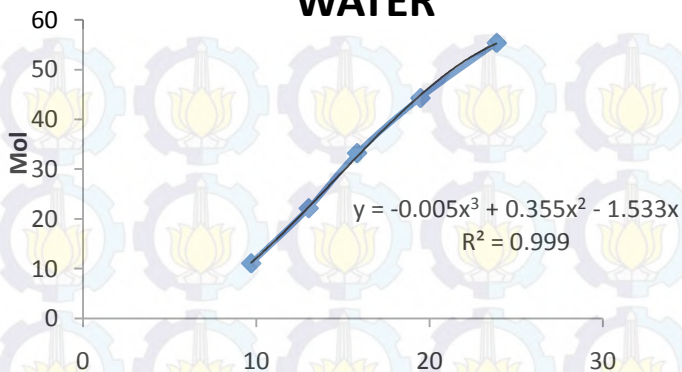
DIETIL KARBONAT (DEC)



ISOBUTANOL

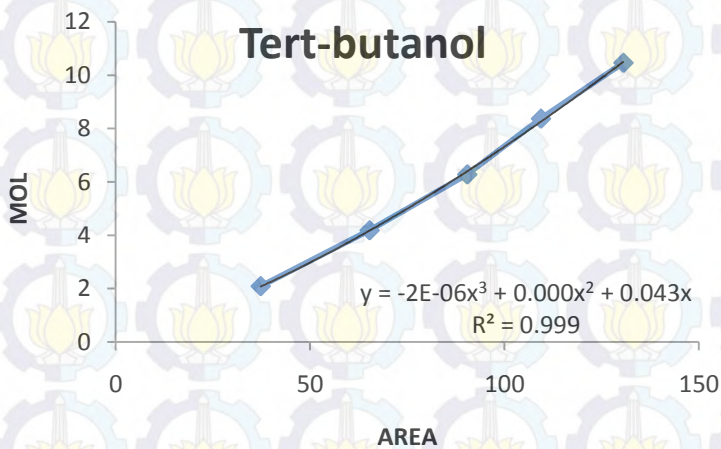


WATER



Kurva Kalibrasi Water

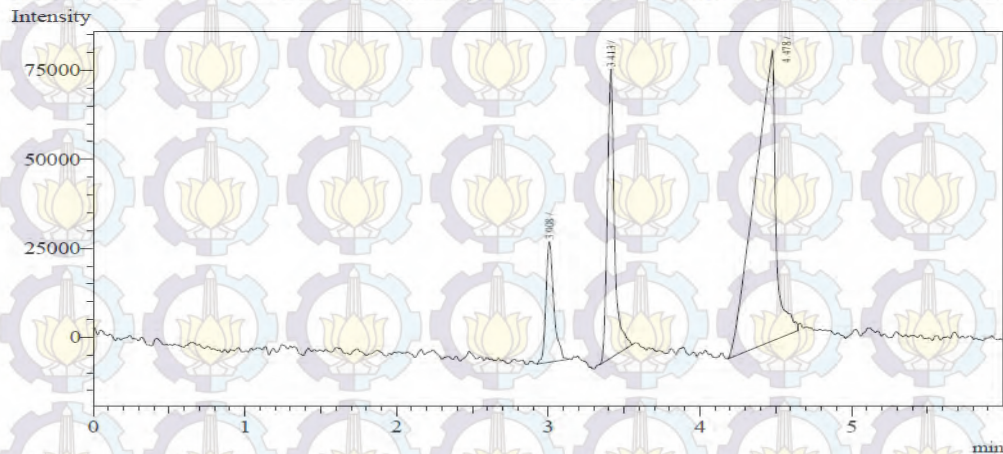
Tert-butanol



Kurva Kalibrasi Tert-butanol

Analysis Date & Time : 11/6/2015 5:14:08 PM
 User Name : Admin
 Vial# : 1
 Sample Name : run 3 fase bawah ke 2
 Sample ID : 1
 Sample Type : Standard
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\TCD\Arina-Polar\DEC+ISOBUTANOL+WATER (SUHU 30)
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\TCD\Arina-Polar\Metode Kalibrasi Validasi\Arina-Polar.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark ID#	Cmpd Name
1	3.008	122207	33752	0.000		
2	3.413	267898	80768	0.000		
3	4.478	801272	81620	0.000		
Total		1191377	196140			

BIOGRAFI PENULIS



Bagus Rizky Pratama Budiajih lahir pada tanggal 08 Oktober 1992 di kota Gresik, Jawa Timur dan merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan menengahnya di SMPN 3 Gresik, SMAN 1 Gresik, dan D3 Teknik Kimia Politeknik Negeri Malang. Dan pada tahun 2013, penulis mulai melanjutkan pendidikan Lintas Jalur S1 di Institut Teknologi Sepuluh nopember (ITS), Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Kimia, sampai dengan terselesaikannya buku ini. Penulis menjalani kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik. Dan pada akhir studinya, Laboratorium Termodinamika Teknik Kimia dipilih untuk pengerjaan tugas akhir. Penulis menyelesaikan tugas Pra-Desain Pabrik Kilang Minyak di Tuban (Pabrik Oil Refinery) dan skripsi yang berjudul “ Keseimbangan Cair-Cair Sistem Ternern Dietil Karbonat + Isobutanol + H_2O Dan Dietil Karbonat + Tert-butanol + H_2O Pada Temperatur 303.15 Dan 313.15 K Pada Tekanan Atmosfer” dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng. Apabila ada kritik dan saran yang membangun tentang penelitian ini, maka pembaca dapat menghubungi penulis via email : bagus_rizky007@yahoo.com.

BIOGRAFI PENULIS



Arina Ulfa S lahir pada tanggal 04 September 1991 di kota Blitar, Jawa Timur dan merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan menengahnya di SMPN 01 Blitar dan SMAN 02 Blitar. Dan pada tahun 2010, penulis mulai pendidikan D3 di Politeknik Negeri Malang. Sewaktu D3 penulis aktif di Badan Eksekutif Mahasiswa. Tahun 2013 melanjutkan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh nopember (ITS), Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Kimia, sampai dengan terselesaikannya buku ini. Penulis menjalani kerja praktek di PT. PETROKIMIA GRESIK. Dan pada akhir studinya, Laboratorium Termodinamika Teknik Kimia dipilih untuk pengerjaan tugas akhir. Penulis menyelesaikan tugas Pra-Desain Pabrik Kilang Minyak di Tuban (Pabrik Oil Refinery) dan skripsi yang berjudul “Kesetimbangan Cair-Cair Sistem Terner Dietil Karbonat + Isobutanol + H₂O dan Dietil Karbonat + Tert-butanol + H₂O Pada Suhu 303.15 dan 313.15 K Pada Tekanan Atmosfer” dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng. Apabila ada kritik dan saran yang membangun tentang penelitian ini, maka pembaca dapat menghubungi penulis via email : arina91arina@gmail.com.